ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XII Abril 1953 NUMERO 46

SUMARIO

Editorial: La arqueología y las demás ciencias 59

539.16/.17:577.12:581.132.1:547.922.07
El empleo de los indicadores en el estudio de la biosíntesis — J. W. CORNFORTH — 61

51/53(081)
Una colección de libros de Newton — E. N. DA C. ANDRADE — 68

581.192:547.94
Los alcaloides en las plantas — W. O. JAMES — 76

595.46
La biología de los escorpiones — MAX VACHON — 80

54-92:541.135.27:541.182.5
Polielectrólitos — A. KATCHALSKY — 90

539.17:539.185.9:535.14
El efecto Szilard-Chalmers — A. G. MADDOCK — 95

577.42:591.543.1
Reacciones de los animales a las variaciones de la temperatura — WILMA GEORGE — 101

049.3
Revista de libros 106

Libros recibidos 111

Notas sobre los colaboradores 112

Redactor-jefe: E. J. HOLMYARD
Redactor auxiliar: TREVOR I. WILLIAMS
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

La arqueología y las demás ciencias

Tras un largo período durante el cual las ciencias se encontraban estrechamente entrelazadas comenzó, hace unos 150 años, una nueva era de divergencia en la que algunas ramas científicas, y en especial la física, la química y la biología, desarrollaron una marcada independencia, tan marcada en verdad que los especialistas de una rama afectaban una total indiferencia por los estudios de las demás. Esta actitud, aunque no totalmente desconocida hoy, ha dado paso en los últimos años a una señalada tendencia hacia la colaboración. Es evidente que no podemos retroceder ya al punto en que un solo hombre podía conocer el conjunto todo de la ciencia y realizar descubrimientos en diversos dominios de la misma; hoy es tan vasto el cúmulo de conocimientos, que llegar a dominar siquiera una mínima parte de los mismos entraña una ardua tarea. El proceso de unificación que presenciamos se manifiesta en la activa colaboración en grupos de especialistas de diversas ramas, y en la creciente tendencia del investigador individual a interesarse por los descubrimientos que se realizan en otras ramas científicas, buscando en ellos posibilidades para sus propios estudios, y procurando, al mismo tiempo, averiguar si sus conocimientos y la técnica de sus investigaciones pueden ser útiles a otros científicos. La amplitud de esta nueva actitud y el abandono de la antigua indiferencia son uno de los más notables acontecimientos científicos durante el presente siglo.

En ninguna rama de la ciencia se presenta este proceso de anastomosis más desarrollado que en la arqueología. Esta es una ciencia que, aunque posee técnicas propias tales como la sistemática clasificación de las características de las viejas culturas, hace uso de otras técnicas foráneas, de donde resulta que el arqueólogo moderno cuenta a su servicio procedimientos físicos, botánicos, geológicos y químicos.

Entre todas, la petrología ha probado ser muy útil en los estudios arqueológicos. Por ejemplo: el examen petrológico de ciertos implementos neolíticos hallados en distintas regiones de la Gran Bretaña sirvió para indicar que debían fabricarse en cierto lugar de Westmorland, ya que sólo allí se encuentra tal tipo de piedra. Los estudios sobre el terreno condujeron más tarde al sitio exacto donde se hallaba enclavada la factoría, en la región predicha. Por el mismo método se han localizado o postulado otras factorías antiguas de hachas de piedra en el País de Gales, Cornualles e Irlanda del Norte. La distribución de los utensilios de origen conocido es un dato valiosísimo para el conocimiento de las antiguas rutas comerciales. Del mismo modo, se ha podido comprobar que los famosos monolitos de Stonehenge, en las cercanías de Salisbury, proceden de Pembrokeshire, a más de trescientos kilómetros de distancia.

Por el contrario, en Angola es la arqueología la que ha ayudado a la petrología estableciendo, por medio de la presencia o ausencia de restos de utensilios humanos, un útil método de identificación de las gravas diamantíferas.

De no menos importancia que la cuidadosa excavación de objetos de interés arqueológico es su restauración y preservación. En este aspecto, la química ha realizado importantes contribuciones, gracias principalmente a los esfuerzos iniciales de Flinders Petrie, que se hicieron famosos sobre todo a causa de los estudios de los objetos de la tumba de Tutankhamun y más tarde de la de Hetep-heres, madre de Cheops. El tratamiento de las riquezas arqueológicas del famoso barco-sepulcro de Sutton Hoo aun tiene ocupados en trabajos de restauración a los laboratorios del British Museum.

El valor de la fotografía aérea para la arqueología es bien conocido de todos. Las grandes estructuras enterradas, tales como los caminos y las murallas, y los emplazamientos de antiguos trabajos y obras, resaltan claramente en los campos cultivados en un momento dado del crecimiento de los sembrados. Además, ciertas plantas muestran una marcada preferencia por los antiguos fosos, hoy rellenos; cuando menos, se ha podido localizar un emplazamiento prehistórico por el círculo de amapolas que crecen en el antiguo foso que rodeaba las murallas.

No debe suponerse que la arqueología hace uso de las demás ciencias, sin ponerse a su vez al servicio de ellas; muy al contrario. Por ejemplo: el descubrimiento arqueológico de restos animales y vegetales identificables sirve a veces para suministrar al biólogo nuevos datos sobre la pasada distribución de ciertas especies: recientes excavaciones en un yacimiento arqueológico del siglo I descubrieron en Yorkshire un escarabajo de una especie que hoy sólo existe en el sur de Inglaterra.

De especial interés son los datos que la arqueología ha aportado sobre la corrosión de los metales.

En recientes excavaciones llevadas a cabo en Hungate (Yorkshire) se han encontrado artículos de hierro, madera y cuero en excepcional estado de conservación. El hierro, en particular, no estaba nunca oxidado; aparecía cubierto de una capa gris, negra o azul; por medio del análisis se averiguó que el suelo era muy rico en fosfatos y que la conservación del hierro se debía probablemente a la formación inicial de una película de fosfato sobre la que se depositó otra de tanato, derivada del cuero. En la actualidad se están estudiando las posibles aplicaciones de este descubrimiento, que puede ser de gran importancia, dado que en la Gran Bretaña solamente la corrosión de las tuberías subterráneas de hierro supone un gasto anual de unos cinco millones de libras.

Una de las funciones principales de la arqueología es fechar los objetos descubiertos en las excavaciones. Las pruebas indirectas permiten a menudo cálculos cronológicos, a veces muy exactos; pero en muchos casos hay que establecer la fecha por un método directo. Por fortuna, hoy se han desarrollado para este fin diversas técnicas nuevas que tienen un valor intrínseco y sirven al mismo tiempo para comprobar la exactitud de otros métodos.

Un método geológico para la determinación cronológica consiste en el recuento del número de laminaciones existentes en los depósitos de arcilla del fondo de los lagos glaciales. Partiendo de un punto dado en Ragunda (Suecia) cuya fecha exacta era conocida (1796 D.C.), de Geer pudo trazar una sucesión continua hasta el año 7912 (A.C.); posteriormente, el mismo investigador ha afirmado poder remontarse hasta un total de unos diecisiete mil años, pero ciertos errores y omisiones en sus últimos estudios, aunque no invalidan los principios de su método, limitan en cierto modo su utilidad.

También la botánica aporta valioso apoyo al arqueólogo para la vital cuestión de la fechación de los objetos excavados. Lennart von Post demostró que los depósitos inundados, especialmente los de turba, preservan la membrana de los granos de polen que hayan ido cayendo sobre ellos en el curso de los siglos; el análisis de dichos granos da una indicación de la población forestal de una época dada, lo que a su vez sirve para informarnos sobre los cambios climatológicos importantes, que pueden fecharse además por otros procedimientos (*Vid.* GODWIN, A. H., *Endeavour*, 10, 5, 1951).

La química ofrece un método de fechación que se basa en el contenido de flúor de los huesos, el cual aumenta con el paso del tiempo, debido a la fluorización de la apatita.

De todas las técnicas nuevas de determinación cronológica, la más reciente, y quizás la más interesante, es la desarrollada hace unos cuatro años por el Profesor W. F. Libby, de Chicago. Brevemente, se basa en el hecho de que todo organismo vivo contiene una proporción uniforme de carbono radiactivo (C^{14}) que se deriva probablemente del bombardeo del nitrógeno de las capas superiores de la atmósfera por los rayos cósmicos. Cuando el organismo muere, el equilibrio entre el C^{14} del mismo y el C^{14} atmosférico (mantenido normalmente por medio de la respiración) queda alterado; el carbono radiactivo de la materia orgánica muerta comienza a desintegrarse a una velocidad constante, correspondiente a una vida-media de unos 5700 años. De aquí que la radiactividad de substancias tales como el carboncillo de madera que se encuentre en excavaciones arqueológicas puede servirnos de indicación de su edad. El método del radiocarbono nos lleva aproximadamente hasta la última fase de la edad glacial, y dentro de este límite cronológico puede servir para determinar, siempre que se observen ciertas precauciones esenciales, una fecha dada, con un error de muy pocos siglos.

Los tres métodos que terminamos de describir — cálculo radiocarbónico, recuento de laminaciones y análisis polínico — producen los resultados más satisfactorios para el período de varios miles de años que sigue a la última edad glacial; sin embargo, su exactitud es menor para los dos mil años últimos. Afortunadamente, hay otro método botánico — la dendrocronología — que alcanza su máxima efectividad precisamente en este período. Esta técnica, ideada por A. E. Douglass, se basa en el número de los anillos de crecimiento de los árboles. Partiendo de una fecha conocida se ha podido remontar hasta unos 400 años A.C., y como algunos Sequoias gigantes de California tienen, por lo menos, tres mil años, quizás sea posible extender aún más el alcance de este método. Una característica notable del mismo es que puede establecer el año exacto en que se cortó una viga o un trozo grande de madera. La dendrocronología se puede aplicar únicamente a los países que han tenido fluctuaciones climatológicas lo suficientemente marcadas para que se hayan reflejado en los anillos de los árboles. Hasta ahora la serie de las mismas se ha podido establecer solamente en América.

El empleo de los indicadores en el estudio de la biosíntesis

J. W. CORNFORTH

Descripción de los métodos de estudio de la biosíntesis: la técnica de los «bloques» genéticos, el proceso de Knoop y el método de los indicadores radiactivos. Los isótopos artificiales: marcado radiactivo de una substancia que interviene en el metabolismo de un organismo; ejemplos de preparación de los mismos. El ácido acético en el metabolismo animal. Aplicación del método de los indicadores al estudio del curso de la fotosíntesis, y del de la biosíntesis del colesterol.

La biosíntesis es el proceso mediante el cual un organismo vivo transforma las moléculas simples en otras más complejas. Debido a las formidables dificultades iniciales, el progreso de su estudio es obra de años recientes. La comparación de la composición química de un animal con la de su alimento no nos suministra, por lo general, un conocimiento mayor que el del granjero que sabe que las ovejas convierten la hierba en carne y lana. Algo más podremos quizás deducir; por ejemplo: si durante algún tiempo damos a un animal un regimen alimenticio sin grasas podremos probar que parte de los carbohidratos consumidos se han debido transformar en grasas. Tales métodos, sin embargo, nos dicen muy poco sobre las fases intermedias de la transformación, aunque han sido muy útiles para descubrir ciertas substancias necesarias a un organismo, pero que éste no puede sintetizar, como vitaminas y aminoácidos fundamentales.

En 1941 se logró un perfeccionamiento de este enfoque del problema con los estudios de Beadle y Tatum, estableciéndose nuevas posibilidades. El método consiste en cultivar un organismo — el moho *Neurospora* es el ejemplo clásico — en un simple medio de composición química estrictamente definida; se somete luego a dicho organismo a determinado maltratamiento, por ejemplo: la exposición a los rayos X, que entrañe la probabilidad de mutaciones en su mecanismo genético. De este modo se pueden producir cepas mutantes que son congenitamente incapaces de efectuar una fase determinada en la síntesis de un metabolito esencial. Dichas cepas se desarrollan normalmente si el medio alimenticio se enriquece con dicho metabolito o con un intermediario que corresponda en la síntesis a una fase posterior al «bloque» genético que paraliza la serie de reacciones biosintéticas. Además, frecuentemente la substancia intermediaria inmediatamente anterior al bloque genético se acumulará en el medio, ya que el organismo es capaz de realizar las operaciones de síntesis que conducen a la misma pero no puede, a causa del bloque, continuar la cadena de reacciones que conducen al metabolito necesario. Con una serie de tales cepas mutantes, cada una con un bloque en un eslabón diferente de una biosíntesis dada, podemos seguir en considerable detalle el proceso de sintetización. El método está limitado a pequeñas especies que crecen y se reproducen rápidamente y no son muy exigentes dietéticamente. Como es natural no hay un control fijo del tipo de mutación inducido, por lo cual la selección de nuevas cepas es un proceso muy lento. Pero dentro de tales limitaciones se han obtenido resultados muy valiosos.

Otro método enteramente nuevo consiste en el uso de átomos y moléculas «marcados». Las investigaciones de Knoop (1905) sobre la oxidación de los ácidos grasos se puede considerar como un antecedente de dicho procedimiento. Knoop administró a ciertos animales una serie de ácidos sintéticos que diferían de los ácidos grasos normales en que tenían un grupo terminal fenílico:

$$C_6H_5.(CH_2)_n.CO_2H.$$

El grupo fenilo, que no se destruía fácilmente en el cuerpo, servía de marca. Cuando el número n en este ácido graso marcado era par, el producto final de oxidación, excretado en la orina, era ácido benzoico, $C_6H_5.CO_2H$; cuando n era impar, el producto final era ácido fenilacético

$$C_6H_5.CH_2.CO_2H.$$

La inferencia natural era que la oxidación de dichos ácidos, y por analogía la de los ácidos grasos normales, se inicia en el átomo de carbono anteinmediato al grupo carboxilo (el átomo

carbono β) y que el curso de la oxidación es

$$C_6H_5.(CH_2)_n.CO_2H \rightarrow C_6H_5.(CH_2)_{n-2}.CO_2H \rightarrow C_6H_5.(CH_2)_{n-4}.CO_2H$$

y así sucesivamente, hasta que ya no se dispone de un grupo β CH_2. Sin embargo, la desintegración de estos ácidos grasos anormales no puede considerarse estrictamente como un proceso metabólico normal; además, sería mucho más difícil encontrar substancias modelo adecuadas para la mayoría de las reacciones bioquímicas. Lo que se necesita es un procedimiento de marcar una molécula sin cambiar ninguna de sus propiedades químicas, lo cual puede conseguirse con la ayuda de los isótopos.

El desarrollo del reactor nuclear para la fisión del uranio ha hecho posible, con su intenso flujo neutrónico, la producción de isótopos radiactivos en apreciables cantidades. El carbono radiactivo de larga vida C^{14} es hoy el isótopo marcador más en uso para los compuestos carbónicos; se produce exponiendo núcleos de nitrógeno a un bombardeo neutrónico: queda capturado un neutrón, emitiéndose un protón. Los núcleos de C^{14} son marcadamente estables; su vida-media es superior a 5000 años. Cuando uno de estos núcleos se desintegra, se emite una partícula β, regenerándose el N^{14}.

Mediante procedimientos semejantes se pueden producir los isótopos radiactivos del fósforo, azufre, hierro y otros elementos de importancia biológica. Sin embargo, en los estudios en que se usan el oxígeno y el nitrógeno como indicadores, todavía tenemos que depender de los isótopos estables separados por los métodos de fraccionamiento.

Es necesario aplicar ciertas técnicas especiales cuando se trabaja con material radiactivo. Los isótopos emisores de rayos γ, excepto en los casos en que la cantidad es muy pequeña, deben manejarse detrás de pantallas de plomo. Las radiaciones β, de menor poder de penetración, quedan por lo general detenidas por los recipientes de cristal que se usan de los laboratorios. Pero siempre se debe tener buen cuidado de no derramar las soluciones o los polvos y de eliminar eficazmente todos los productos de desecho; lo cual es necesario no sólo como protección higiénica sino también para impedir la contaminación de otras muestras y evitar falsas mediciones de su radiactividad. En todo caso, el laboratorio debe inspeccionarse periódicamente como precaución contra la contaminación radiactiva.

La gran ventaja de los isótopos inestables es la facilidad con que se pueden detectar y titular. Un contador de Geiger-Müller puede registrar la desintegración radiactiva de un solo núcleo, y de aquí que sea suficiente un pequeño grado de radiactividad en la muestra. El tubo de Geiger-Müller forma la base de la mayoría de los aparatos de medición y puede usarse con muestras sólidas, líquidas y gaseosas. Al construir un instrumento para el análisis de un isótopo dado, se debe tener en cuenta el poder penetrativo de la radiación. Las muestras sólidas con C^{14} se deben colocar sobre discos de tamaño y forma standard que, a su vez, se colocan dentro de una pesada coraza, a una distancia fija del tubo contador, que cuenta automáticamente las emisiones. Los instrumentos se pueden preparar de modo que cuenten las emisiones de varias muestras sucesivas sin interrupción, aplicándose también las necesarias correcciones para las radiaciones del «fondo» cuando no hay radiactividad en la muestra, y para la absorción de radiaciones por ésta. Los resultados se expresan a menudo en radiaciones por minuto por milígramo de carbono, lo que es directamente proporcional a la concentración del isótopo. La desintegración radiactiva es un proceso de azar y es preciso continuar las mediciones el tiempo necesario para eliminar las fluctuaciones fortuítas.

La aplicación de los isótopos como indicadores bioquímicos es, en principio, muy simple. Consiste en la introducción de un isótopo de algún elemento biológicamente importante en una substancia normalmente asimilable por el organismo bajo estudio. Se dice entonces que esta substancia está «marcada» y se puede seguir su distribución en los diversos constituyentes de los tejidos, con la seguridad de que las moléculas marcadas han pasado por todos los procesos metabólicos normales.

Estas substancias enriquecidas isotópicamente se suministran por lo común bajo una forma química simple, por ejemplo: C^{14}, como carbonato de bario; N^{15}, como una sal de amonio, etc. La sintetización de una molécula marcada isotópicamente difiere en ciertos aspectos interesantes de la síntesis orgánica ordinaria. El isótopo es siempre el ingrediente más costoso y por tanto se debe emplear un método que permita su introducción en la substancia lo más tarde posible para reducir a un mínimo las pérdidas durante las fases siguientes. Al preparar una síntesis ordinaria, el químico puede usar una substancia originaria muy compleja, siempre que alguien la haya ya sintetizado; pero cuando se trata de incorporar isótopos, estos pasos iniciales no se deben considerar nunca seguros. Por eso es preciso a veces

preparar cuidadosamente substancias que, en otros procesos, se tomarían simplemente de un frasco del laboratorio. Imaginemos un problema concreto: con una muestra de carbonato de bario marcada con C^{14}, preparar dos muestras de ácido acético, $CH_3.CO_2H$, una marcada en el grupo carboxilo y la segunda en el metilo. Con un ácido liberamos anhídrido carbónico del carbonato de bario, y condensamos, con ayuda del aire líquido, la mitad del anhídrido liberado en un tubo que contenga una solución de yoduro de magnesio metílico. Al calentar hasta 0° se produce la reacción

$$CH_3.MgI + C^*O_2 \rightarrow CH_3.C^*O_2.MgI,$$

donde C* significa el átomo de carbono marcado, y mediante la descomposición ácida se desprende ácido acético marcado en el grupo carboxilo, $CH_3.C^*O_2H$. La otra mitad del anhídrido se convierte mediante hidrogenación catalítica a alta presión en metanol, $C^*H_3.OH$, el cual se transforma, a través del yoduro de metilo, $C^*H_3.I$, en yoduro de magnesio metílico, que se hace reaccionar, como en el caso anterior, con CO_2 ordinario y sin marcar, para obtener ácido acético marcado en el grupo metilo, $C^*H_3.CO_2H$. Otro procedimiento útil para producir un aminoácido, $R.CH(N^*H_2).CO_2H$, es reducir un ácido α-ketónico, $R.CO.CO_2H$, con hidrógeno en presencia de amoníaco isotópico, N^*H_3; éste no es un método acostumbrado en las síntesis ordinarias, pero presenta la ventaja de introducir el isótopo en la última fase.

Una substancia natural puede ser demasiado compleja para que podamos prepararla satisfactoriamente en forma marcada mediante una síntesis total. En tales casos, podemos a veces realizar un intercambio de átomos, como en el caso del ácido palmítico marcado con deuterio preparado mediante el calentamiento del ácido normal con agua pesada, y platino como catalizador. Cuando semejante método no es aplicable, se puede intentar la síntesis en el interior de un organismo vivo, suministrando el isótopo en forma apropiada en el alimento. En este caso no se puede controlar tan estrechamente la posición en la molécula de los átomos marcados.

Cuando tenemos una molécula biosintetizada a partir de un precursor isotópico, es a veces importante determinar el contenido isotópico de determinados átomos de la molécula y establecer así cuántos de ellos se derivan del átomo o átomos marcados en el precursor. La descomposición de una substancia orgánica con el propósito de dilucidar su estructura, se efectúa ordinariamente por medio de reacciones fácilmente interpretables, desintegrándola en fragmentos identificables de la molécula, cuanto más grandes mejor. Pero para aislar átomos individuales se necesita a menudo un proceso diferente. Por ejemplo, para determinar en una muestra dada de ácido acético isotópico qué átomos de carbono están marcados, se prepara y calienta la sal de litio, destilándose la acetona y quedando un residuo de carbonato de litio, que se origina en el grupo carboxilo:

$$2CH_3.CO_2.Li \rightarrow CH_3.CO.CH_3 + Li_2CO_3.$$

La acetona, con hipoyodato de sodio, da ácido acético y yodoformo, derivados del grupo metilo de la acetona y por lo tanto del ácido acético originario. Si la marca es C^{13}, el carbonato de litio y el yodoformo se convierten, por acidificación y combustión respectivamente, en CO_2 para su examen en el espectrómetro de masas; si es C^{14}, el CO_2 se fija en forma de carbonato de bario solido para el recuento de sus radiaciones.

La mayoría de las primeras investigaciones sobre la biosíntesis se realizaron con hidrógeno y nitrógeno isotópicos, debido a que ésos fueron los primeros elementos de importancia biológica en que se produjo una separación de isótopos en gran escala. El descubrimiento más importante de ese período fué el que Schoenheimer denominó «estado dinámico de los constituyentes del organismo». Como la composición química de un animal plenamente desarrollado es casi constante, se podría suponer que su alimento tiene como principal función la de suministrar combustible que produzca calor y energía, y que sólo una proporción muy pequeña se utiliza para la restauración de los tejidos. Los primeros experimentos de Schoenheimer sirvieron ya para modificar esta hipótesis: al alimentar a un animal con ácidos grasos marcados con deuterio se observó que una gran proporción de los mismos aparecía rápidamente en los depósitos de grasa de todo el cuerpo. Además, si el isótopo se administraba en un ácido graso dado, la «marca» se distribuía entre casi todos los demás ácidos hallados en la grasa del cuerpo. Semejantes experimentos con otras substancias alimenticias demostraron que los tejidos se hallan en constante proceso de des- y reintegración. El organismo vivo, en vez de ser una máquina que se repara a sí misma, es como un depósito de una central hidroeléctrica; el agua de aflujo se mezcla con el agua que ya se encuentra en aquél antes de pasar por las turbinas.

Este rápido e incesante flujo dentro de un organismo vivo provoca una de las dificultades mayores en el estudio de la biosíntesis. Los tres compuestos orgánicos principales de un organismo animal, proteínas, grasas y carbohidratos: todos ellos de moléculas relativamente grandes, no sólo se hallan en equilibrio dinámico con las substancias alimenticias, sino también entre sí. El carbono isotópico introducido en forma de azúcar, aparece tanto en las proteínas como en las grasas y carbohidratos del organismo. Por ello es a menudo importante investigar la presencia del isótopo lo más pronto posible después de su introducción y antes de que la «marca» se haya distribuído demasiado ampliamente.

Las grandes moléculas del organismo se desintegran en unidades más pequeñas para su resintetización. El número de dichas unidades presentes en los tejidos en un momento dado es frecuentemente muy pequeño. Uno de los intermediarios fundamentales en el metabolismo animal es el ácido acético; sin embargo, su existencia en el cuerpo vivo es tan transitoria que son necesarios métodos indirectos para determinar su presencia. Cuando el organismo absorbe ácido acético marcado isotópicamente, éste se mezcla con las reservas metabólicas del mismo ácido, las cuales se hallan en continuo uso para los procesos de sintetización y reciben también continuas adiciones mediante la desintegración de otras moléculas, especialmente de las grasas. Si se introduce a un mismo tiempo una amina apropiada que no sea un constituyente orgánico normal, parte de la reserva de ácido acético se destina a acetilar la amina, que se excreta como un derivado acetílico por la orina. La sulfanilamida es muy apropiada para este experimento, excretándose en forma de N-acetilsulfanilamida, substancia que es fácil aislar e hidrolizar de nuevo en sulfanilamida y ácido acético. El ácido acético recuperado de este modo se examina luego para determinar su contenido isotópico, cuya proporción depende primero de la cantidad de ácido acético metabólico con que se mezcló la dosis marcada, y segundo del movimiento de las reservas del ácido acético, o sea la velocidad con que se consume y se reintegra. Por medio de una serie de experimentos, extrapolando los resultados hasta el momento cero, se puede llegar a un cálculo de ambos factores y de la importancia del ácido acético como intermediario en la biosíntesis. Rittenberg y Bloch han calculado de esta manera que la rata produce diariamente un gramo de ácido acético por cada 100 g de peso del cuerpo.

Cuando se realiza un experimento de este tipo debemos asegurarnos de que tanto la substancia administrada como la aislada del organismo están libres de impurezas que puedan tener un mayor contenido isotópico, lo cual tiene especial importancia cuando es pequeña la proporción del isótopo. Mejor que la acostumbrada purificación a un punto de fusión constante es la cristalización de la substancia orgánica marcada a una radiactividad constante. Cuando el metabolito puede aislarse únicamente en pequeñas cantidades, quizás no sea fácil conseguir la completa eliminación de las impurezas; dicha dificultad puede a veces salvarse añadiendo una cantidad mayor, pero conocida, de la substancia no isotópica pura: el isótopo queda diluído, pero sigue siendo observable. De esta manera es a veces posible detectar en una mezcla compleja substancias que de otro modo resistirán a la separación.

EL CURSO DE LA FOTOSINTESIS

El proceso biosintético más importante, por lo que se refiere a la vida en nuestro planeta, es la fotosíntesis, mediante la cual las plantas usan la energía solar para fijar el anhídrido carbónico del aire. Se sabe desde hace mucho que una hoja verde expuesta a la luz del sol absorbe anhídrido carbónico y desprende oxígeno; que los cloroplástidos de la hoja, que contienen la clorofila verde, se hallan íntimamente asociados a dicha función; y que el CO_2 atmosférico es la fuente de todo el carbono de los tejidos de la planta.

El estudio detallado de los procesos involucrados de la fotosíntesis sólo se ha llevado a cabo durante los últimos doce años, gracias a la existencia de métodos analíticos más efectivos, entre los cuales es el más importante el del carbono isotópico. Sin embargo, ya se había establecido una importante inferencia sin auxilio de los isótopos: que la fijación del CO_2 y la producción de oxígeno son fases discretas. Así, un jugo verde producto de la maceración de las hojas, que contenga los cloroplástidos, cesa de fijar el CO_2, pero continúa produciendo el oxígeno en la luz siempre que se hallen presentes ciertas substancias reductibles: éstas se reducen simultáneamente. Este y otros experimentos condujeron a la doctrina que hoy se considera correcta, de que la reacción que absorbe la energía solar no es una fijación del CO_2 sino una división de las moléculas de agua, seguida del almacenaje del hidrógeno en la forma reducida XH_2 en un sistema enzimático X, mientras se libera el oxígeno:

$$2H_2O + 2X \rightarrow 2XH_2 + O_2.$$

A continuación, el sistema XH_2 interviene en la fijación del CO_2. Una de las primeras aplicaciones de la técnica de los isótopos consistió en el uso del oxígeno isotópico en el agua (y a veces en el CO_2) suministrada a la planta. Este experimento demostró que el oxígeno liberado se originaba en el agua y no en el CO_2. Más tarde, cuando se pudo disponer de CO_2 radiactivo, se demostró que una planta expuesta a la luz en ausencia de CO_2 puede a continuación fijar esta substancia en la oscuridad; esta facultad dura algunos minutos.

Se han realizado grandes progresos en el estudio del curso del CO_2 asimilado, destacando en estas investigaciones Calvin y sus colaboradores de Berkeley, California. Para este fin, las algas verdes son un sujeto experimental más útil que las plantas superiores, pues puede trabajarse con ellas en forma de puré, lo que facilita la absorción eficaz y uniforme de la luz y del CO_2. Una suspensión de algas (*Chlorella, Scenedesmus*) se alimentó con CO_2 radiactivo, primero durante su iluminación y posteriormente en ausencia de luz. Después de un intervalo dado se destruyeron las células inmergiéndolas en un ácido, y se examinó su contenido. El método de la cromatografía de partición sobre papel, que se encontraba en simultáneo desarrollo con estos experimentos, es muy útil para el análisis de las complejas mezclas vegetales. La posición de una substancia en el cromatograma es una indicación provisional de su identidad; la posición de los elementos radiactivos puede obtenerse por medio del efecto de Becquerel: la impresión en una placa fotográfica colocada cerca de la fuente radiactiva; así se obtiene una autorradiografía del papel.

Estas experiencias pronto probaron que el carbono del CO_2, una vez absorbido, se distribuye rápidamente entre un gran número de constituyentes de la planta. Para hallar cuál de éstos es el producto inmediato de la fijación del CO_2, fué necesario reducir a muy pocos segundos el tiempo de contacto con el gas radiactivo. La cantidad absoluta de fotosíntesis ocurrida en ese intervalo era muy pequeña, pero esta dificultad quedaba contrarrestada usando un CO_2 de elevada actividad. Al acortar aún más el período de contacto, aparecían menos puntos radiactivos en el cromatograma, hallándose una fracción progresivamente creciente del CO_2 fijada en el grupo carboxilo del ácido fosfoglicérico,

$$HO_2C^*.CHOH.CH_2OPO_3H_2;$$

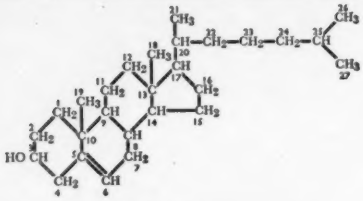
en condiciones favorables, unos tres cuartos del CO_2 podían hallarse en dicha posición. La necesaria degradación del ácido fosfoglicérico a ácido glicérico se efectuó por hidrólisis, seguida de la oxidación de éste con peryodato, apareciendo los tres átomos individuales de carbono como CO_2 (grupo carboxilo), acido fórmico (carbono α) y formaldehido (carbono β). Es tal la rapidez de los procesos metabólicos de la planta que si se permite durante unos minutos la continuación de la fotosíntesis, esos tres átomos de carbono resultan igualmente radiactivos. Los resultados obtenidos hasta ahora sugieren que la reacción primaria de fijación se efectúa entre el CO_2 y una molécula «aceptante» con dos átomos de carbono, que puede ser, por ejemplo, el fosfoglicolaldehido, $OHC.CH_2OPO_3H_2$, pudiendo entonces establecerse la siguiente reacción de fijación:

$$C^*O_2 + OHC.CH_2OPO_3H_2 + XH_2 \rightarrow HO_2C^*.CHOH.CH_2OPO_3H_2 + X.$$

La rápida incorporación del carbono isotópico en los carbonos α y β del ácido fosfoglicérico debe significar que el intermediario bicarbónico se forma asimismo en una fase temprana de la fotosíntesis; en la actualidad se realizan investigaciones para dilucidar este problema. Es fácil prever que en los próximos veinte años se habrán de obtener sobre los procesos fotosintéticos más conocimientos que los adquiridos durante los ciento ochenta siguientes a los primeros descubrimientos experimentales. El carbono radiactivo será el arma principal en estas investigaciones, aunque la técnica de su empleo irá complicándose progresivamente.

BIOSINTESIS ESTEROIDEA

La biosíntesis del colesterol plantea un orden distinto de problemas, que nos interesan particularmente. Los esteroides, de los que es arquetipo el colesterol, pueden ser sintetizados por los tejidos animales y vegetales, y se hallan presentes en la mayoría de los organismos, aunque no, al parecer, en las bacterias. En el organismo animal, el colesterol es un agente importante para el transporte de los ácidos grasos, creyéndose que es el precursor de las hormonas sexuales, las hormonas adrenocorticales y la vitamina D. La estructura química del colesterol quedó establecida después de una larga serie de investigaciones analíticas, habiéndose sintetizado artificialmente dicha substancia en fecha reciente. La fórmula tetra-anular del colesterol:



es característica de todos los esteroides.

Nuestros conocimientos de la biosíntesis del colesterol se deben en gran parte a los estudios de Konrad Bloch, de Chicago. Los primeros experimentos en que se utilizó el deuterio como indicador mostraron que el ácido acético se convierte pronto en colesterol; más tarde, las investigaciones con C^{13} y C^{14} probaron además que el ácido acético puede suministrar los 27 átomos de carbono necesarios para la síntesis del colesterol, y que es posible por tanto considerarlo como la unidad fundamental para la construcción de esta molécula. Los fragmentos vivos de hígado de rata sintetizan colesterol a base de una solución que contenga acetato, siendo éste un método eficaz para obtener colesterol biosintetizado marcado para las investigaciones sobre la distribución isotópica. Después de haber preparado así colesterol a base de ácido acético marcado en el grupo metilo, y alternativamente en el carboxilo, Bloch aplicó conocidas reacciones de degradación para aislar algunos átomos individuales de carbono. Algunos eran radiactivos, otros no; pero los átomos inactivos de carbono en colesterol derivado del acetato marcado en el grupo carboxilo eran activos cuando el acetato precursor había sido marcado en el grupo metilo, y viceversa. Esto indicaba que las moléculas de ácido acético se agrupan en el colesterol de acuerdo a un esquema fijo; además, la comparación de la radiactividad de los átomos individuales con la actividad total de la molécula sugería que de los 27 átomos de carbono del colesterol, 15 se derivan del metilo y 12 del carboxilo del acetato.

A fin de obtener un mejor conocimiento del esquema estructural del colesterol, se procuró conseguir una más completa degradación del mismo. Por fortuna, los métodos primeramente usados para determinar la estructura de la cadena lateral *iso*-octílica,

$$CH_3.\overset{|}{C}H.CH_2.CH_2.CH_2.CH(CH_3)_2,$$

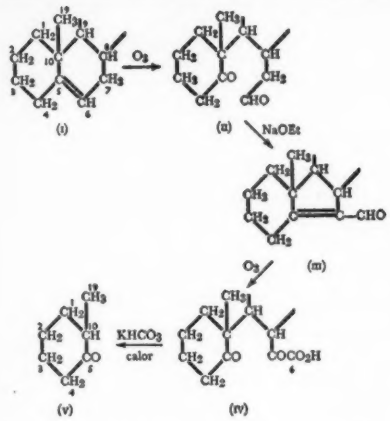
eran también aplicables a este propósito. La saturación del doble enlace del colesterol y la acetilación del grupo oxhidrilo conducen al acetato de colestanilo. Este puede oxidizarse, aunque con poco rendimiento, a acetona que se deriva del grupo terminal. Los átomos individuales de carbono en la acetona se pueden separar por medios ya indicados, aunque es imposible, como es natural, distinguir entre los dos grupos metilo situados idénticamente.

En la oxidación que produce acetona, el resto de la molécula de colestanol surge como ácido acetoxialocolánico, en el que la cadena lateral se acorta a $CH_3.\overset{|}{C}H.CH_2.CH_2.CO_2H$. Este ácido fué degradado por métodos conocidos que permitieron la separación de los restantes átomos de carbono de la cadena. En suma, se halló que tres de los ocho carbonos de las cadenas laterales se originaban en los grupos carboxilo del ácido acético, y cinco en los grupos metilo. Si los representamos por *c* y *m* respectivamente, el esquema de la cadena lateral será:

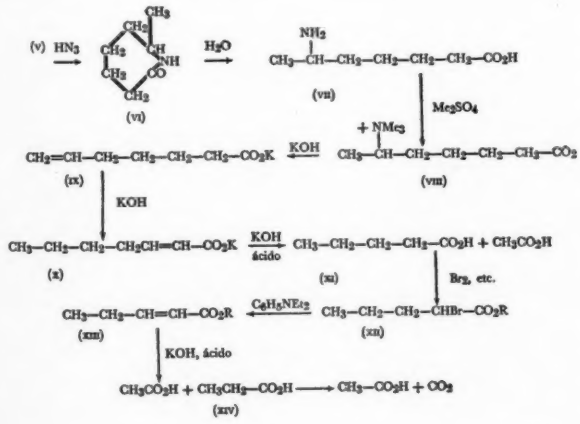
$$m-\overset{|}{c}-m-c-m-c\begin{cases} m \\ m \end{cases}.$$

En el *National Institute for Medical Research* (Gran Bretaña), en colaboración con Hunter y Popják, nosotros hemos atacado la molécula de colesterol desde el otro extremo, esto es: los anillos que contienen el grupo oxhidrilo y el doble enlace. Como no se conocía ningún proceso de degradación conveniente fué necesario inventar uno, que está representado por las fórmulas parciales indicadas a continuación. Se eliminó primeramente el grupo oxhidrilo del colesterol por conversión a cloruro y reducción. El hidrocarburo resultante, colesteno, (I), se oxidizó con ozono hasta un ketoaldehido (II), el cual, tratado con etóxido de sodio, dió un aldehido insaturado (III), que se ozonizó de nuevo, dando como producto principal un α-ketoácido (IV). Parte de éste se calentó con anilina, desprendiéndose en forma de CO_2 el carbono carboxílico, C_6 del colesterol. El resto del ácido se calentó considerablemente con bicarbonato potásico, produciéndose la esperada fisión de la molécula y aislándose la 2-metil-*ciclo*-hexanona (V).

Después de haber separado así un bloque de siete átomos de carbono, el problema siguiente era separar dichos átomos entre sí. La metil-*ciclo*-hexanona (V) se trató con ácido hidrazoico dando una lactama (VI), que se hidrolizó hasta el ácido 6-aminoheptóico (VII), el cual, tratado con sulfato de metilo, se convirtió en su betaína (VIII). Esta se calienta con hidróxido potásico, debiendo producirse primeramente un ácido insaturado (IX), pero es sabido que la potasa caliente causa un



cambio de la posición del enlace doble de un ácido insaturado. En este caso el enlace doble se transmite a lo largo de la cadena carbónica hasta conjugarse con el grupo carboxilo (x); en ese momento puede producirse una fisión oxidativa cuyos productos son el ácido valérico (xi) y el acético. Este, que contiene los átomos 4 y 5 del colesterol, se analiza según indicamos antes; el ácido valérico se somete a una degradación aplicable a todos los ácidos grasos en general. La brominación del cloruro ácido, seguida de la adición de alcohol *neo*pentílico da un bromo-éster (xii); la dietilanilina hirviendo elimina luego el bromuro de hidrógeno, y el resultante éster insaturado (xiii), al calentarse con hidróxido potásico, sufre una fisión oxidativa, como la anterior, que da los ácidos propiónico (xiv) y acético. La degradación del ácido acético da los carbonos 2 y 3 del colesterol; el ácido propiónico se oxidiza a ácido acético y CO_2, carbono N° 1. El análisis de esta tercera molécula de ácido acético nos descubre los carbonos 19 y 10.



El origen de los ocho átomos de carbono separados en esta degradación puede ilustrarse de la misma manera que en el caso de la cadena lateral; cuatro de los átomos se originan en el grupo metilo, los otros cuatro en el carboxilo:

Las dos degradaciones descritas hacen posible examinar individualmente el contenido isotópico de la mayoría de los átomos de carbono del colesterol. En la actualidad está en proyecto la separación de los restantes, pero ya nos encontramos en condiciones de poner a rigurosa prueba toda teoría detallada de la biosíntesis, pues en ella se debe predecir exactamente la posición de los átomos marcados cuando se usa un precursor isotópico.

De las páginas precedentes hemos tenido que omitir diversos aspectos importantes de la biosíntesis. Todas las reacciones biosintéticas, en lo que se sabe, dependen de sistemas de enzimas; por ello puede decirse que el estudio de la biosíntesis es una rama de la química enzimática. Mucho antes de la aparición de los isótopos, los investigadores ya estudiaban diversas reacciones enzimáticas aisladas; la técnica de los indicadores significa la llegada de un poderoso refuerzo en esas labores. La química enzimática se interesa cada vez más por el estudio de sistemas integrados por varias enzimas, y los estudios biosintéticos ayudan a estimar la importancia de un sistema dado en el funcionamiento normal de un organismo.

Una posibilidad interesante en este campo de investigaciones es la emergencia del estudio de la biosíntesis como un serio competidor de la química orgánica sintética. Hasta ahora ha sido más económico preparar un producto a base de carbón o petróleo que aislarlo en una substancia viva. Ello se debe a que la sintetización artificial se dirige exclusivamente a un producto que no es más que parte de un número de componentes en la economía de un organismo vivo. Si en el futuro resulta posible controlar la dirección de los procesos metabólicos, ello será fruto del progreso de los conocimientos sobre la biosíntesis.

En el origen de una técnica es siempre posible un rápido desarrollo, pero los isótopos han dado al estudio de los problemas biológicos un ímpetu tal que no parece probable que se debilite en muchos años.

Una colección de libros de Newton

E. N. DA C. ANDRADE

Importancia de las obras curiosas relacionadas con Newton. Noticias bibliográficas sobre el origen de los *Principia* y datos de las distintas tiradas de la primera edición y de impresiones posteriores, traducciones y otras obras, principalmente de Voltaire, relacionadas con los *Principia*. Ediciones de la *Optica* en latín, inglés y otras lenguas. Las obras matemáticas y sus diversas ediciones, especialmente las obras relacionadas con la disputa Newton-Leibniz. Impresiones de otros estudios sobre cronología y teología.

La pasión de coleccionar libros, como todas las demás pasiones, puede ser defendida con argumentos, pero no tiene su origen en la razón. El buen coleccionista goza con la vista, el tacto y el olor de los viejos libros de su elección. Los conocimientos con ellos relacionados proporcionan al aficionado un placer que no suele darse en la búsqueda de otros objetos. La predilección, que constituye el verdadero acicate del coleccionista, no es un estímulo desdeñable: en las tareas de la investigación científica es la predilección la que incita al descubridor a elegir un campo de exploración con preferencia a otro, y con frecuencia es la intuición, más bien que la lógica, la que determina sus conclusiones, aunque al publicar la relación de sus trabajos exponga ésta de un modo ordenado y de acuerdo con ciertas reglas.

Una colección de libros de Newton no tiene sólo el interés inherente a todo lo que aparezca íntimamente relacionado con una de las mentes más profundas de la historia humana, sino que es un instrumento necesario para todo el que desee estudiar directamente al hombre. Las ediciones de sus grandes obras publicadas en su vida difieren entre sí, y las adiciones son frecuentemente de gran importancia respecto al desarrollo de su pensamiento. Las traducciones del latín al inglés y del inglés al latín presentan puntos de interés, y las primeras ediciones póstumas, hechas en general por grandes eruditos, son muy valiosas por sus notas. Hubiera sido muy conveniente, claro está, que Newton hubiese publicado sus trabajos a medida que los iba realizando; pero las primeras publicaciones, que en general no han sido reimpresas, tienen todas gran significación, aun las de aparición más tardía. Por otra parte, los trabajos sobre profecía y cronología, aunque no tienen relación con la ciencia de Newton, son necesarios para comprender su carácter, y esos trabajos sólo existen hoy en sus primeras ediciones. Bastará, finalmente, decir en nuestro apoyo que no existe ninguna edición de las obras completas de Newton, y el problema de prepararla es tan complicado en estos tiempos de escaso ocio, fondos limitados y reducida erudición, que no parece probable que se emprenda en un futuro próximo.

Hay ciertos libros relacionados con los primeros años de la vida de Newton que, aunque no fueron escritos por él, deben figurar en tal colección. Está probado, por ejemplo, que los versos atribuídos a Newton por Brewster y L. T. More [1] entre otros, fueron copiados de una edición de *Eikon Basilike* [2]. El ejemplar que yo poseo, en el que aparecen esos versos, es de la edición de 1649, que figura en la bibliografía de Almack bajo el número 43. No hay duda de que el retrato de Carlos I, con el que Newton ilustró sus versos, fué copiado de la portada del citado libro [3]. El reloj de agua que hizo Newton corresponde exactamente al dibujo y descripción que aparecen en *The Mysteries of Art and Nature* de John Bate, y los extensos apuntes y reglas sobre dibujo y pintura, las recetas, remedios, etc., transcritos en un antiguo libro de notas de Newton, fueron copiados del mismo libro [4]. La primera edición de este libro apareció en 1634, pero un examen detenido me ha convencido de que el ejemplar usado por Newton pertenecía a la tercera edición de 1654 que, en unión de la segunda edición de 1635, figura en mi colección.

La primera cita de Newton en letras de imprenta aparece en 1669, en el prefacio de las *Lectiones Opticae* de Isaac Barrow, título generalmente admitido aunque el verdadero del libro era mucho más historiado. En ese prefacio, Barrow reconoce la ayuda de «*Isaacus Newtonus, collega noster* (*peregregiae vir indolis ac insignis peritiae*)» (Isaac Newton, colega nuestro, persona de excepcional capacidad y singular pericia). Este libro es muy curioso desde el punto de vista bibliográfico. En la portada hace una descripción de lecciones sobre óptica y añade: *Annexae sunt Lectiones aliquot*

FIGURA 1 – *El ejemplar de gran tamaño de la tercera edición de «Principia», especialmente encuadernado en tafilete rojo harleyano, que Newton regaló a Littleton Powys.*

Geometricae (se han añadido algunas lecciones de geometría); pero, mientras esta portada lleva la fecha 1669, las lecciones de geometría van precedidas de otra portada independiente, fechada en 1670. Mi ejemplar de esta edición, así como mi ejemplar de Varenius, quedó destruído, con mi laboratorio, durante la guerra. Tengo, sin embargo, un ejemplar de ambos trabajos encuadernados juntos, con una portada fechada en 1672, cuyo título sólo se diferencia del anterior en los nombres de los libreros, no de los impresores; y poseo también otro ejemplar con una portada de diferente redacción y diseño, fechada en 1674. El contenido es idéntico en las tres ediciones, de modo que no importa qué edición haya de poseer el coleccionista: las diferentes portadas indican que los ejemplares eran vendidos por distintos libreros.

Otro trabajo menor que debemos mencionar antes de tratar de las grandes obras de Newton es la *Geography* de Varenius, editada por Newton: *Bernardi Vareni Med. D. Geographia Generalis . . . una cum Tabb. aliquot quae desiderabantur aucta et illustrata. Ab Isaaco Newton Math. Prof. Lucasiano Apud Cantabrigienses. Cantabrigiae MDCLXXII.* Newton, en carta a John Collins del 25 de mayo de 1672, dice: «El libro que se está imprimiendo aquí es la Geografía de Varenius, para la que he trazado algunos esquemas, y supongo que la impresión quedará terminada dentro de unas seis semanas». Por una nota del traductor, Mr. Dugdale, en el prefacio de la traducción inglesa de 1733, sabemos que Newton dió lecciones de geografía mientras ocupó la cátedra lucasiana.

Los principales elementos de cualquier colección

de Newton deben ser las ediciones de los *Principia*, o para darle su título completo: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, libro que apareció por primera vez en 1687. Fué escrito por Newton en unos dieciocho meses, a instancias de Halley; a éste se debió en realidad la publicación del libro, pues comprendiendo antes que nadie la suprema importancia de la obra de Newton, resolvió cuidarse de ella y ocuparse en imprimirla por cuenta propia. También se debió a su prudente intervención el que Newton, que se había mostrado ofendido con ciertas observaciones de Hooke, se abstuviera de suprimir el último de los tres «libros» que integraban la obra. Además, Halley escribió un bello poema laudatorio en latín, que aparece impreso al comienzo del libro.

La portada lleva, como nota curiosa, el *imprimatur* de Samuel Pepys, que fué presidente de la Royal Society, no en el momento de aparecer el libro, sino el año anterior, 1686, cuando el libro entró en imprenta. Hay dos versiones de la portada: una lleva el pie de imprenta: *Londini, Jussu* SOCIETATIS REGIAE *ac Typis* JOSEPHI STREATER. *Prostat apud plures Bibliopolas.* ANNO MDCLXXXVII; la otra dice, después de la palabra Streater: *Prostant Venales apud* SAM. SMITH *ad insignia Principis Walliae in Coemiterio D.* PAULI, *aliosq; nonnullos Bibliopolas.* ANNO MDCLXXXVII. Estas dos versiones suelen ser llamadas, respectivamente, la primera y la segunda tirada de la primera edición. Hay en las dos tiradas algunas erratas de imprenta que han sido cuidadosamente clasificadas. Algunas de estas erratas aparecen corregidas en algunos ejemplares; pero las portadas no van con las erratas, y yo creo que no hubo más que una impresión. Es erróneo, por tanto, hablar de la una o de la otra portada como perteneciente a una «primera tirada». H. P. Macomber, del Instituto Babson, de Massachusetts, que ha examinado o ha recibido informes acerca de veinte ejemplares diferentes, incluyendo los dos míos (pues yo poseo un ejemplar de cada clase) ha llegado también a la conclusión de que sólo hubo una impresión del texto, durante la cual se corrigieron algunos errores, y que, al encuadernarse el libro, las hojas con correcciones se cosieron indistintamente con ambas portadas. Esto concuerda con los primeros hallazgos de Lord Keynes, gran especialista en Newton, que fué quien primero mencionó la cuestión. La colección de Keynes de libros newtonianos fué legada al Kings' College de Cambridge, cuyo bibliotecario, A. N. L. Munby, ha publicado una relación de la misma [5].

Existen pocas dudas de que los ejemplares con el pie de imprenta de *Sam. Smith* fueron destinados a la venta en el extranjero. Mi ejemplar está encuadernado en vitela y lleva la firma de Jacobus Peirce «*Lugd. Bat.*» (abreviatura de *Lugdunum Batavorum*), Leyden.[1] Es la versión más rara de la portada. Macomber, que viene formando desde hace tiempo un censo de las primeras ediciones de los *Principia*, ha catalogado hasta ahora 145 ejemplares, 28 de los cuales llevan el pie de imprenta *Sam. Smith.* No se sabe cuántos ejemplares se imprimieron en conjunto, pero la opinión general es que la tirada fué pequeña. Mi ejemplar de *plures Bibliopolas* perteneció antiguamente al Duque de Bedford, y lleva su ex-libris, fechado en 1703.

La segunda edición de los *Principia* se imprimió en Cambridge en 1713, y lleva en la portada el conocido lema: *Hinc lucem et pocula sacra.* Fué editada por Roger Cotes, de quien Newton tenía la más alta opinión. «Si Mr. Cotes viviera —dijo de él — hubiéramos podido saber algo». La nueva edición aparece mucho más ampliada en algunos lugares; es un libro en cuarto del mismo tamaño de página de la primera edición, pero la impresión está más apretada, de modo que, a pesar de las ampliaciones, el libro contiene menos páginas. Sabemos que la edición fué de 750 ejemplares, que hoy no son demasiado escasos; la única dificultad consiste en hallar un ejemplar en buen estado.

La tercera edición impresa en Inglaterra apareció en tres tamaños: el ordinario, que tiene aproximadamente el mismo tamaño de página que las dos ediciones anteriores, o sea unos 24 cm por 18,5 cm; una edición de gran tamaño, 28,0 cm por 21,6 cm, según arroja mi ejemplar, que perteneció a S. P. Rigaud, el astrónomo y erudito de Oxford, autor del *Historical Essay on the First Publication of Sir Isaac Newton's Principia*, y otra magnífica edición de tamaño excepcional, impresa para regalos, de 32,6 cm por 23,4 cm. Gray dice en su *Bibliography of the Works of Sir Isaac Newton*, de 1907, que sólo se imprimieron doce ejemplares de este tipo, pero se sabe que, en realidad, el número fué mucho mayor. Herbert Davis ha presentado recientemente una prueba decisiva, demostrando que se imprimieron realmente 50 ejemplares en papel *Superfine Royal*; 200 en papel grande (del segundo grupo antes descrito) y 1000 en *Demy* (edición ordinaria). La encuadernación de los ejemplares de mayor tamaño varía bastante.

[1] Peirce fué un estudiante inglés de teología, matriculado en la Universidad de Leyden en 1695.

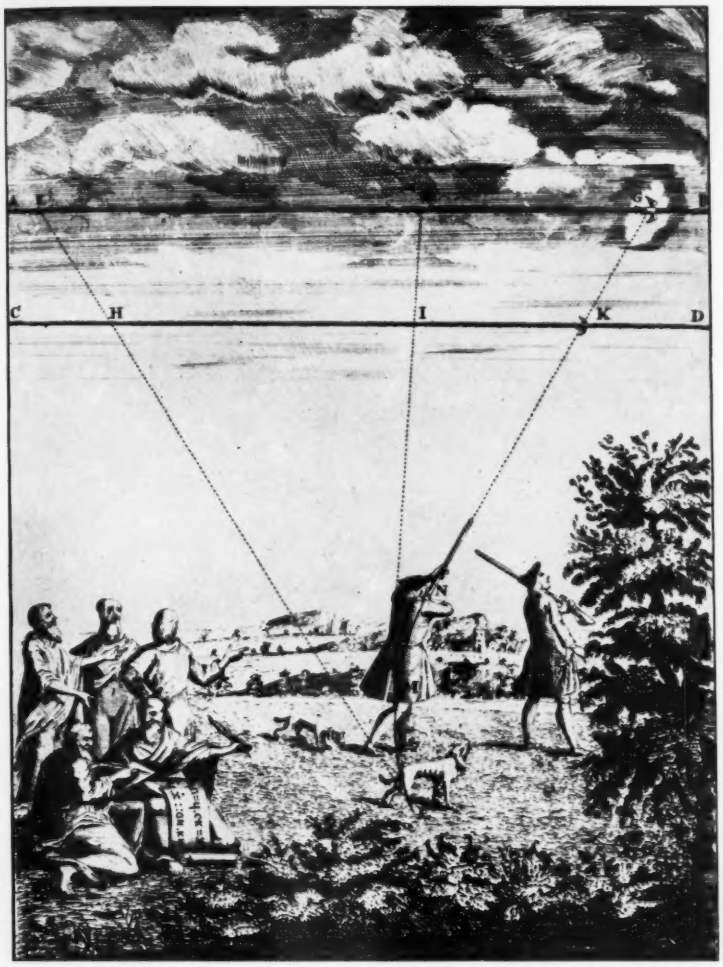


FIGURA 2 – *Plancha de la traducción inglesa que hizo Colson de la «Geometria Analytica» de Newton, para ilustrar los principios del cálculo.*

Algunos de ellos aparecen en suntuoso marroquí harleyano rojo, llamado así porque este modelo fué muy usado en las encuadernaciones de la gran biblioteca reunida por Robert Harley, primer Conde de Oxford[1], y acaso se refiera a éstos Gray cuando dice: «solamente se imprimieron 12 ejemplares, evidentemente para regalos». Estos ejemplares tienen bordes dorados. Otros están encuadernados en piel de Rusia, unos lisos y otros en relieve; la encuadernación del ejemplar de Babson está hecha por Clarke y Bedford, de modo que no puede tener mucho más de cien años de existencia. Mi ejemplar, en marroquí harleyano rojo (plancha 1, pág. 69) es el regalado por Newton a Littleton Powys, de la biblioteca de Lilford.[2] De los 50 ejemplares del tamaño mayor, Macomber ha localizado 28 en la actualidad.

De las posteriores ediciones inglesas, todo coleccionista poseerá seguramente la traducción inglesa, en dos volúmenes, de Andrew Motte; «a la cual se añaden las Leyes del Movimiento de la Luna de acuerdo con la Gravedad, por John Machin»; publicada en 1729, que tiene ya hoy cierta rareza. Yo poseo un bello ejemplar de la edición de este libro revisada por W. Davis, publicada en tres volúmenes en 1803. Contiene una vida de Newton de escaso valor; dice de Newton que «era en verdad de condición dulce y suave . . . », lo que no podrá por menos de sorprender al que conozca, por ejemplo, sus disputas con Hooke y su trato con Flamsteed. No poseo ninguna de las ediciones americanas, la primera de las cuales apareció en 1846. En 1934 se reimprimió en América la traducción de Motte, en un volumen que lleva en el lomo el nombre de Cajori, que revisó la traducción, pero no el de Motte.

Los *Principia* fueron traducidos al francés por la Marquise du Chastellet (que se escribe hoy generalmente Châtelet), la supuesta amante de Voltaire.[3] La obra apareció en 1759 en dos espléndidos tomos en cuarto. Mi ejemplar procede de la biblioteca de Luton, y lleva por consecuencia el ex-libris del Marqués de Bute. La Marquise

[1] «Político hábil y de pocos escrúpulos, fué un diestro jefe de partido, pero, debido a su carencia de las más altas cualidades del buen estadista, resultó ser un ministro débil e incapaz». G. F. Russell Baker. Harley fué Primer ministro de la reina Ana 1710–14.

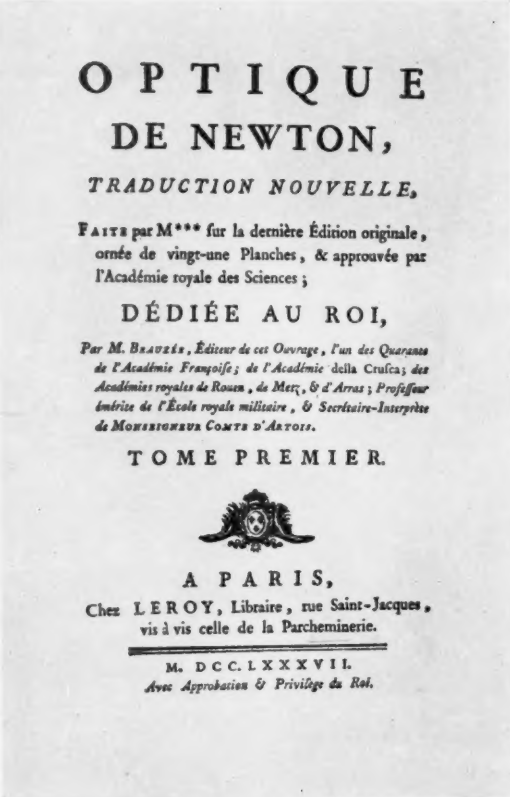
[2] Powys es el nombre de familia del Barón Lilford. El primer Barón fué Thomas Powys, que adquirió el título en 1797.

[3] «Cette liaison qui troubla sa vie, et nuisit à sa réputation, a donné lieu a plusieurs anecdotes que nous ne rapporterons point ici, les unes par respect pour la décence, les autres par égard pour la vérité. Au reste, quelle qu'ait été la nature de cette liaison, le souvenir en sera plus durable que les ouvrages de Mme du Chastelet . . .»—Michaud.

había fallecido en 1749 y su traducción fué revisada por el célebre matemático Clairaut, algunas de cuyas investigaciones aparecen resumidas en un comentario publicado como apéndice de la traducción. No se sabe a ciencia cierta qué parte de la traducción se debe a la culta dama y qué parte es obra de Clairaut, que había sido anteriormente profesor de ciencias de la Marquise.

Al comienzo del libro figura un poema de Voltaire sobre la física de Newton, dedicado a la marquesa, a la que el poeta califica de «*Minerve de la France, immortelle Emilie*». Este poema nos conduce a otro interesante libro en el que apareció el poema por primera vez, y es el titulado: *Elémens de la Philosophie de Neuton* (Amsterdam, 1738), escrito por Voltaire como popularización de los descubrimientos de Newton. Los ejemplares de este libro varían en los retratos que llevan en la portada. Yo tengo un ejemplar que no lleva retrato alguno; otro, que lleva la firma de C. Horrebow, astrónomo danés (hijo del aun más famoso P. Horrebow), presenta dos frontispicios frente a frente: uno de un hombre escribiendo, con traje romano, corona de laurel, figuras simbólicas y nubes en la parte superior de su estudio, y el de Voltaire. En una edición de la misma fecha, con el pie de imprenta de Londres (los pies de imprenta de Voltaire no significan mucho) hay un retrato de Newton (muy deficiente) frente a otro de Voltaire. Una edición de 1741, también de Londres, lleva sólo un retrato de Newton. La edición de 1741 contiene la famosa historia de la manzana, mientras que las ediciones de 1738 la omiten, cosa extraña, puesto que aparece en el libro de Voltaire: *Lettres sur les Anglais*, (1733). De este libro sólo tengo una versión inglesa, que apareció en el mismo año con el título: *Letters concerning the English Nation*. Poseo también una traducción inglesa de los *Elémens*, hecha por John Hanna, «Maestro de Matemáticas», que apareció en el mismo año que el original: 1738.

Volviendo a los *Principia*, la primera edición extranjera es la de Amsterdam de 1714, que sigue a la edición inglesa de 1713 página por página (ambas, naturalmente, en latín), pero compuesta de nuevo. Mi ejemplar está encuadernado en vitela estampada, un tipo de encuadernación muy en boga en el continente por aquel tiempo. Como apéndice de la siguiente edición de Amsterdam, la de 1723, aparece el *Analysis per Quantitatum Series*, al que me referiré más adelante; mi ejemplar de esta edición está encuadernado también



OPTIQUE
DE NEWTON,
TRADUCTION NOUVELLE,
FAITE par M*** sur la dernière Édition originale, ornée de vingt-une Planches, & approuvée par l'Académie royale des Sciences;
DÉDIÉE AU ROI,
Par M. BRAUZÉE, Éditeur de cet Ouvrage, l'un des Quarante de l'Académie Françoise; de l'Académie della Crusca; des Académies royales de Rouen, de Metz, & d'Arras; Professeur émérite de l'École royale militaire, & Secrétaire-Interprète de MONSEIGNEUR COMTE D'ARTOIS.
TOME PREMIER.
A PARIS,
Chez LEROY, Libraire, rue Saint-Jacques, vis à vis celle de la Parcheminerie.
M. DCC. LXXXVII.
Avec Approbation & Privilège du Roi.

FIGURA 3 – *Portada de la traducción francesa hecha por Marat de la «Optiks» de Newton.*

en vitela estampada. Todo buen coleccionista debe poseer la edición de Ginebra de 1739, llamada generalmente «la edición de los jesuítas», con evidente error, porque Thomas Le Seur y Francis Jacquier, a quienes se deben los excelentes comentarios, eran «mínimos» y no jesuítas.[1] La obra tiene tres volúmenes, encuadernados a veces en cuatro, como ocurre con mi ejemplar. Una edición enmendada y más precisa de esta versión (*Editio altera longe accuratior & emendatior*) fué impresa en Ginebra en 1760. La edición modelo fué durante mucho tiempo la de Le Seur y Jacquier. Señalemos la nota curiosa de que, mientras la primera edición cita como lugar de la impresión *Genevae*, la segunda señala *Coloniae Allobrogum*, antiguo nombre de la ciudad. Algún pedante debió de hacer objeciones al nombre de

[1] Los «mínimos» fueron fundados por San Francisco de Paola en Italia, a mediados del siglo XV, y se propagaron a Francia. Aunque sus instituciones están basadas en la regla de San Francisco, no tienen nada que ver con ella.

Genevae. Tengo varias ediciones posteriores, como la impresa en la *University Press* de Glasgow en 1822, y reimpresa en 1833, con los comentarios de Le Seur y Jacquier, pero sin interés particular.

En 1728, y por lo tanto póstumo, apareció bajo el nombre de Newton un *Treatise on the System of the World*; se ha dudado de su autenticidad, pero parece que injustamente. Es una versión popular del tercer libro de los *Principia*, que era traducción de una versión latina que, sin embargo, apareció más tarde: en 1731. El libro fué escrito, según nos dice la portada, *In Usum Juventutis Academicae*, para uso de los jóvenes universitarios. La versión inglesa se publicó en tres ediciones, lo que demuestra su popularidad.

Después de los *Principia*, la obra más importante de las publicadas por Newton es la titulada: *Opticks: or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light. Also Two Treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures* (Óptica, o Tratado de las Reflexiones, Refracciones, Inflexiones y Colores de la Luz. Acompañada de dos Tratados sobre las Especies y Magnitudes de las Figuras Curvilíneas), que lleva una espléndida portada en rojo y negro. Esta obra no fué publicada hasta 1704, cuando Newton tenía 61 años, aunque gran parte de ella había sido escrita mucho antes. Se cree generalmente que Newton aplazó la publicación de la obra hasta después de fallecer Robert Hooke en 1703, para evitar controversias. Aunque los *Principia* aparecieron por primera vez en latín, la *Opticks* se publicó en inglés; pero los dos tratados matemáticos, anunciados en inglés en la portada, aparecen en latín: *Enumeratio Linearum Tertii Ordinis* y *Tractatus de Cuadratura Curvarum*. Mi mejor ejemplar está encuadernado en marroquí rojo de la época, con bordes dorados, destinado probablemente a regalo, aunque no lleva inscripción alguna; no he vuelto a ver ningún ejemplar encuadernado de esa forma. En aquellos tiempos, era indispensable una versión latina para el continente, y en consecuencia apareció una traducción de Samuel Clarke en 1706, con el título: *Optice*; mi ejemplar perteneció a J. L. E. Dreyer, famoso por sus estudios sobre la historia de la astronomía. Las dos ediciones, inglesa y latina, aparecieron en cuarto, impresas por Sam. Smith and Benj. Walford, impresores de la Royal Society. En la edición latina se incluyeron importantes adiciones a las interesantes *Quaestiones* con que el libro termina: hay dieciseis en la edición inglesa y ventidós en la latina, figurando entre las cuestiones adicionales, que exceden en longitud a las originales, una discusión sobre la naturaleza de la luz polarizada, impresa aquí por primera vez, y más adelante, ciertas asombrosas especulaciones sobre la luz y la estructura atómica, una de las cuales se inicia así: «¿ No son los cuerpos sólidos y la luz convertibles entre sí mutuamente y no reciben los cuerpos gran parte de su actividad de las partículas de luz que entran en su composición ?»

La segunda edición inglesa es esencial para el coleccionista que quiera poseer las últimas adiciones a las «cuestiones», que ahora se elevan a treinta y una. Hubo al parecer dos tiradas, pues algunas portadas llevan la fecha de 1717, mientras que la mayoría está fechada en 1718. La tercera edición, de 1721, es una reimpresión de la segunda, con unas palabras añadidas al fin, y la cuarta, de 1730, y por lo tanto póstuma, es una reimpresión de la tercera. El ejemplar que yo poseo de la cuarta edición es interesante por haber sido entregado como premio, en 1742, en el Trinity College de Dublín, cuyo escudo de armas ostenta en la cubierta; fué poseído más tarde por Dreyer, y luego por E. F. Armstrong, que me lo regaló a mí. En 1719 apareció una segunda edición de la versión latina de *Optice*, de la que poseo un ejemplar de gran tamaño. Esta edición contiene las treinta y una «cuestiones».

Hubo dos traducciones francesas de *Opticks* en el siglo XVIII: una de Pierre Coste, en 1720 (segunda edición en 1722), y otra de M***, que apareció en 1787 y se refiere mordazmente, en el prefacio, a la traducción de Coste. Esta edición fué «dedicada al Rey», lo que se compagina mal con los ulteriores trabajos del traductor, que fué J.-P. Marat, el revolucionario.

Otro libro completamente distinto, que a veces se confunde con *Opticks*, es el titulado: *Lectiones Opticae*, formado con notas de las conferencias dadas por Newton en Cambridge en 1669, cuando ocupaba la cátedra lucasiana. Aunque esta obra representa, por tanto, una etapa anterior a la *Opticks* en los trabajos de Newton, no apareció hasta 1729, después de su muerte. Un año antes había aparecido una traducción inglesa (las notas de las conferencias estaban escritas en latín). Yo tengo ambas versiones; mi ejemplar de la latina procede de la biblioteca de Walter Bowman, quien, a juzgar por otros volúmenes hoy en mi colección, encuadernó sus libros de Newton uniformemente en linda piel de becerro. El libro latino contiene dos partes, de las cuales sólo la primera aparece en la traducción inglesa. La única traducción de todo el libro que yo conozco

está escrita en ruso y fué publicada en 1946; poseo un ejemplar de la misma, especialmente encuadernado, que me regaló el amable traductor y editor S. I. Vavilov, fallecido recientemente.

Cuando examinamos los trabajos específicamente matemáticos de Newton, podemos constatar con toda evidencia la aversión que sentía hacia la publicación. «No me gusta que se me imprima a cada paso», decía Newton con frecuencia. La única obra que publicó por propia iniciativa fué el apéndice a la *Opticks* antes citado. El manuscrito *De Analysi*, enviado por Newton a Barrow en 1669, que contiene los principios fundamentales de los cálculos diferencial e integral, fué publicado por primera vez por William Jones en 1711, bajo el título: *Analysis per Quantitatum Series*. El libro contiene los dos tratados que aparecieron como apéndice de la *Opticks*. Hay ejemplares en papel grande y grueso, de los que poseo uno dedicado por Sir William Jones a «Mr. Allen». Perteneció antiguamente a R. A. Sampson, Real Astrónomo de Escocia. En 1736, John Colson publicó una traducción inglesa de un manuscrito latino titulado: *Geometria Analytica*, que fué incluído en latín en la obra de Horsley: *Isaaci Newtoni Opera Quae Exstant Omnia*, 1779. En cuanto al libro de Colson, tiene comentarios excelentes y está ilustrado con un gracioso dibujo de un cazador disparando contra un ave, con lo que se pretende simbolizar los principios elementales del cálculo diferencial. John Stewart, en 1745, publicó una traducción inglesa de la *Quadratura* y el *Analysis*, con un comentario; «todo ello acomodado a la comprensión de los principiantes a quienes el libro está principalmente dedicado». Es un espléndido libro en cuarto mayor. Debemos citar también una traducción francesa: *La Méthode des Fluxions et des Suites Infinies par M. le Chevalier Newton*, 1740, escrita por la mano, quizás insospechada, de Buffon, el gran naturalista francés. Tiene un excelente prefacio.

Para la historia de la controversia Leibniz-Newton, referente a la invención del cálculo, el *Commercium Epistolicum* es un documento esencial. No poseo la primera edición de 1712, pero tengo ejemplares de las ediciones segunda y tercera, de 1722 y 1725, que contienen adiciones y alteraciones. También tiene interés una edición crítica francesa de 1856. Sería tedioso describir, o siquiera citar, todos los libros relativos a esta disputa, que todavía apasiona a los eruditos.

Debe hacerse mención de la *Arithmetica Universalis*, que apareció en latín en 1707, también *In Usum Juventutis Academicae*. Si la juventud académica lo entendió debía ser muy inteligente, porque, según H. W. Turnbull, «el libro contiene una enorme cantidad de material . . . y penetra profundamente en la teoría de las ecuaciones». Da, por ejemplo, una regla para el descubrimiento de las raíces imaginarias de las ecuaciones que no quedó definitivamente demostrada hasta 1865, por el gran matemático Sylvester. Como de costumbre, Newton se resistió a que la obra fuese impresa. David Gregory escribe con respecto a este libro: «Newton piensa ir a Cambridge este verano y verlo, y si no le gusta, comprará todos los ejemplares. Se compone de una serie de conferencias pronunciadas hace muchos años, cuyo texto se depositó en la Biblioteca Pública, con arreglo al Estatuto». Hay otras ediciones ulteriores del libro latino, incluyendo una muy bella en cuarto, de Amsterdam (1761) publicada con extensos comentarios de Castillioneus[1] y adiciones de otros autores. Mi ejemplar de este libro está encuadernado en vitela estampada. Se publicaron tres ediciones de la traducción inglesa, la primera en 1720.

Estos son los principales temas del trabajo científico de Newton; pero su gran genio empleó mucho tiempo en otros campos, incluyendo la cronología, la teología y la química. *The Chronology of the Ancient Kingdoms Amended* (La cronología enmendada de los antiguos Reinos) apareció póstumamente en 1728. En este caso también fué redactado el manuscrito — a ruegos de la Princesa de Gales, Carolina de Brandenburg-Ansbach — sin intención de publicarlo. Sin embargo, el Abbé Conti lo publicó en París (1725) con el título: *Abrégé de Chronologie de M. le Chevalier Newton*, seguida de una crítica de Fréret. No poseo este libro, pero sí el titulado: *Sir Isaac Newton's Chronology Abridged by Himself, To which are Added Some Observations on the Chronology of Sir Isaac Newton. Done from the French, by a Gentleman. London* 1728, que es una versión inglesa del escrito de Newton y de la crítica de Fréret. Este libro es muy raro. Mi mejor ejemplar de la *Chronology* está impreso en papel de 28,2 por 22,8 cm. El problema tratado aquí por Newton era el de ajustar la historia escrita, incluyendo los sucesos bíblicos, dentro del tiempo disponible desde la creación del mundo, fijada en el año 4004 A.C., habida cuenta del diluvio: 2348 A.C. El templo de Salomón aparece cuidadosamente descrito e ilustrado con tres planchas. Estas materias eran

[1] Jean-François Salvemini, que tomó el nombre de Castiglioni, Castillon, o Castillioneus de la pequeña ciudad de Castiglione en la Toscana, donde nació.

por aquel tiempo objeto de estudios muy serios que despertaban un gran interés. Salió a luz una edición en Dublín el mismo año que la de Londres. (Mi ejemplar fué un premio dado en el Trinity College de Dublín.) Entre los trabajos referentes a la cronología de Newton figuran una defensa publicada en francés, en Francfort en 1757 por Sir James Steuart,[1] contra las críticas de Souciet, y un voluminoso ataque de Fréret, publicado póstumamente en París en 1758. El principal interés de estos libros consiste en que revelan un extraño aspecto del carácter de Newton y nos ofrecen un vivo cuadro de una preocupación de la intelectualidad de aquel tiempo.

El único trabajo teológico de Newton publicado es: *Observations upon the Prophecies of Daniel, and the Apocalypse of St. John*, 1733. En su biografía de Newton, Sir David Brewster señala que el gran hombre había sido afanoso estudiante de las escrituras desde la juventud, y añade: «Este ingenioso trabajo se caracteriza por una gran cultura, y está marcado por la sagacidad de su brillante autor». Debe figurar en toda colección de Newton, y es tal vez el más fácil de obtener a bajo precio.

Por lo que se refiere a las obras completas de Newton, no existe ninguna edición definitiva. En 1779–85, apareció una colección, a la que hemos hecho ya referencia, con el título *Isaaci Newtoni Opera Quae Exstant Omnia*, editada por Samuel Horsley, en cinco tomos en cuarto. Es una hermosa producción y contiene los textos publicados en forma de libro y otros trabajos valiosos, como el texto original, publicado entonces por primera vez, del inacabado *Methodus Fluxionum*, así como algunas cartas dirigidas a la Royal Society con referencia al telescopio de reflexión. Sin embargo, la colección está muy lejos de ser completa, y ni siquiera incluye las memorias impresas en las *Philosophical Transactions*, ni las cartas publicadas en la *History of the Royal Society* de Birch, 1756–7, de la que poseo un ejemplar del Marqués de Bute. Pero, a pesar de ello, es una publicación valiosa y necesaria. Mi ejemplar de este libro está encuadernado en piel de Rusia de la época, con bordes dorados, en condición inmaculada. Se cita por algunos una «edición completa» de las obras de Newton, que no es en realidad una edición, sino una colección que se puede hacer con *Opuscula*, editado por Castillioneus en tres volúmenes, en Lausana y Ginebra, en 1744; los *Principia* de Le Seur y Jacquier, 1739–42; la *Arithmetica Universalis*, editada por Castillioneus, Amsterdam, 1761, y la *Optice* con el pie de imprenta de Lausana y Ginebra, 1740.

Habrá, naturalmente toda una serie de libros que pertenecen a una colección newtoniana: trabajos de divulgación como el de Algarotti: *Dialoghi sopra La Luce, I Colori, e l'Attrazione* (con el lema *Quae legat ipsa Licoris*), 1737, que logró gran popularidad y fué traducido al inglés con el título: *Sir Isaac Newton's Philosophy Explain'd for the Use of the Ladies. In Six Dialogues on Light and Colours.* El traductor (anónimo) fué Elizabeth Carter, amiga del Dr. Johnson. Tenemos ataques contra el trabajo científico de Newton, como el de Rizzetti: *De Luminis Affectionibus*, 1727, y los de algunos maniáticos aludidos en el libro de De Morgan: *Budget of Paradoxes* (Saco de paradojas), que nos trae a la memoria la otra bella obra de De Morgan: *Newton: his Friend: and his Niece* (Newton, su amigo y su sobrina). Tenemos varias «Vidas» de Newton, escritas por Brewster, L. T. More, J. W. N. Sullivan y otros; los testimonios de contemporáneos tales como Stukeley y Whiston, y algunos libros modernos que tratan de los trabajos de Newton en la Casa de la Moneda, como el de Dana Horton: *Silver Pound* (Libra de plata) y el de Sir John Craig: *Newton at the Mint* (Newton en la Casa de la Moneda). Deben figurar también en los estantes del coleccionista las bibliografías de Gray y Macomber, los catálogos de ventas, las actas de la Royal Society sobre la conmemoración del tercer centenario y varios volúmenes conmemorativos. Detallar estas fuentes y las diversas obras del siglo XVIII y posteriores de interés para el newtoniano, podría quizás entretener al autor de este artículo, pero acaso abrumar a sus lectores.

[1] O Stewart (el nombre se escribe de ambos modos y se da en la portada como S——t), economista político que tomó después el nombre de Denham.

BIBLIOGRAFIA

[1] MORE, L. T. «Isaac Newton». Charles Scribner's Sons, Nueva York y Londres. 1934.

[2] ANDRADE, E. N. DA C. *Proc. phys. Soc. Lond.*, **55**, 426, 1943.

[3] STUKELEY, W. «Memoirs of Sir Isaac Newton's Life». Escrito en 1752; publicado por primera vez por Taylor and Francis, Londres. 1936.

[4] ANDRADE, E. N. DA C. *Nature*, Lond., **135**, 359, 1935.

[5] MUNBY, A. N. L. «Notes and Records of the Royal Society».

Los alcaloides en las plantas

W. O. JAMES

Teorías sobre la función de los alcaloides en las plantas: ¿ son insecticidas, desintoxicantes, reguladores del crecimiento, productos de reserva o de desecho? Su formación: proceso metabólico que parte de substancias normales en la planta y parece depender del complejo enzimático de la misma, que es a su vez efecto del genotipo y cambia con las transformaciones genéticas. Ejemplos de síntesis alcaloidea en especies de *Nicotiana*. Otros posibles procesos de síntesis y sus relaciones con las enzimas catalizantes. Las enzimas adaptivas y sus substratos; ejemplos de su existencia en las plantas superiores. La variabilidad genética de estos procesos parece indicar que son sólo una fase en la evolución metabólica vegetal.

Los alcaloides de las plantas plantean problemas de marcado interés para los investigadores en muchas de las ramas de la ciencia, y si bien los alcaloides se forman exclusivamente en las plantas, los botánicos tienen por lo general peor conocimiento de ellos que los químicos. Si algún botánico manifiesta interés por los alcaloides, invariablemente se le pregunta ¿por qué los producen las plantas? De diez veces las nueve, y aún más a menudo, cabe esperar una respuesta teleológica. Adoptando una actitud idéntica, los antiguos botánicos intentaron proporcionar la respuesta esperada.

La solución más popular en ese sentido ha patrocinado la idea de protección, y recientemente el estudio de los insecticidas sistémicos ha suministrado una analogía interesante en extremo. Estas substancias, introducidas en el torrente circulatorio de la savia de las plantas, se distribuyen a través de las mismas y acaban por acumularse en los extremos de los brotes en las regiones apicales. Se ha comprobado una mortalidad de un 100% entre los afidios o pulgones de la col que al chupar los jugos de la misma absorben soluciones diluídas de anhídrido *bis*(*bis*dimetilaminofosfonoso). El reactivo no ejerce efectos perjudiciales en los tejidos de la planta [1]. Los alcaloides se acumulan con frecuencia en los tejidos apicales blandos y en las capas superficiales de las hojas y en otras partes más viejas. Errera [2], cuya escuela fué la primera en demostrar esta distribución en numerosas plantas, sugirió la idea de que podrían realizar una acción protectora contra los insectos y los herbívoros; esta sugerencia se ha repetido varias veces, desde entonces. Los hechos, sin embargo, no abonan mucho en favor de esta idea. Los cultivadores de tabaco, tomates y patatas no encuentran que sus plantaciones se vean libres del ataque de los insectos, a pesar del contenido alcaloide relativamente grande en los brotes terminales de las plantas. Es un hecho curioso que las especies de *Nicotiana* que acumulan nicotina en cantidad notable se ven atacadas frecuentemente por insectos para los que puede ser fatal la rociada de nicotina [3]. La grande toxicidad de los alcaloides es a menudo específica de un modo sorprendente; prueba de ello la tenemos en el hecho conocido y familiar del uso de la quinina como defensa contra los protozoos en el hombre. Recíprocamente, alcaloides ponzoñosos en alto grado para el hombre, pueden resultar inofensivos aun para otros mamíferos. Las bajas concentraciones de *l*-hioscianina en la belladona hacen tóxicos para los niños y adultos unos gramos de su tejido fresco; en cambio los conejos, liebres [4], aves y animales de granja consumen impunemente cantidades mucho mayores. Las orugas de la *Pieris rapae*, los escarabajos saltadores y los afidios son capaces de destrozar las plantaciones de belladona; ni la *Duboisia* se ve inmune, aun cuando su follaje acumula los mismos alcaloides en una concentración diez veces mayor [5]. Los alcaloides de la quinina reunidos en muy excepcional concentración en la corteza de la *Cinchona* no la protegen contra el ataque de las orugas, dentro de cuyo cuerpo puede encontrarse cinchonina cristalizada [6]. Tampoco los alcaloides parecen ejercer efecto decisivo como fungicidas. Las irrupciones de los *Phytophthoras* en patatas, tomates y tabaco son muy comunes. Los mohos florecen en las bayas excesivamente maduras de la belladona y sus plantones se pudren por el pie a causa del *Pythium*. El *Cladosporium fulvum* en cultivo es resistente a una gran variedad de alcaloides investigados [7]; sin embargo, se dice que concentraciones bajas de berberina y sanguinarina inhiben el *Phymatotrichum omnivorum*, haciéndole incapaz de infectar las

raíces que contienen dichas substancias [8]. El parásito de las angiospermas, *Cuscuta*, penetra en las células del *Conium* y *Delphinium* que contienen alcaloides [9]. Parece claro que la protección no puede ser una función general de los alcaloides en la planta, aun cuando sea posible demostrar que es una realidad en algunos casos especiales.

Se ha propuesto también como posibilidad la desintoxicación, si bien con menos pruebas aún en su apoyo. Esta doctrina supone que los alcaloides, siendo inofensivos para la planta que los produce, pueden representar un aprisionamiento metabólico de substancias que, de otro modo, podrían resultar perjudiciales. Un papel semejante se ha adjudicado a los amido-ácidos al eliminar el exceso de amoníaco. La formación de la amida es relativamente sencilla y rápida, y parece que algunas veces amortigua las concentraciones de amoníaco. Pictet [6] sugería que la formación de alcaloides impide la acumulación de cantidades tóxicas de aminoácidos como la prolina, histidina y triptofán; la suposición, con todo, carece de base experimental.

Una nueva sugerencia, más difícil de precisar en la actualidad, es que los alcaloides pueden incluir entre ellos las substancias reguladoras del crecimiento. Algunas vitaminas, co-enzimas y grupos prostéticos de enzimas tienen bases nitrogenadas en su estructura, siendo posible que los alcaloides estén asociados de algún modo con su producción. El ácido nicotínico relacionado con la nicotina es, por ejemplo, un esencial factor de crecimiento en las plantas. Es cierto, sin embargo, que la mayoría de las plantas, probablemente un 90%, no forman alcaloides ni necesitan obtenerlos de fuentes exteriores. Además muchas de las que normalmente producen alcaloides, se pueden desarrollar en forma de plantones libres de los mismos sin mostrar desviaciones evidentes de sus características normales.

Tropiezan de ordinario con dificultades de una o dos clases las tentativas para demostrar que los alcaloides tienen valor como reservas en la economía de las plantas, en un sentido parecido al almidón y algunas proteínas. Los alcaloides raramente se acumulan en cantidades comparables a las de las conocidas substancias de reserva, y la formación de muchos de ellos parece ser irreversible durante la vida normal de la planta. Ambas afirmaciones no carecen de excepción, pero la prueba del retorno de los alcaloides a la circulación metabólica queda circunscrita a algunas plantas de semillero y a hojas senescentes, y aun en estos casos las cantidades implicadas son siempre extremadamente pequeñas [10]. Los alcaloides representan pocas veces más del 1 o 2% del nitrógeno de la planta y menos aún de su carbono.

Las pruebas de que la formación de alcaloides sea favorable para la existencia de la planta son tan poco convincentes que la mayoría de los investigadores se han resignado a catalogarlos como productos de desecho; como dijo Tschirch [11] de una manera muy gráfica, como desperdicios en la playa metabólica. Tal conclusión no es muy inspiradora y además a diferencia de los productos ordinarios de desecho, los alcaloides permanecen dentro del organismo, comúnmente en células vivientes. Más importante aún: constituyen productos finales estructuralmente complejos de series de complicadas reacciones absorbedoras de energía y no son como el anhídrido carbónico y la urea simples productos de desintegración con liberación de energía.

Los alcaloides merecen algo más que este mero desdén debiendo señalarse que aun cuando fuera posible sostener cualquiera de las hipótesis especificadas anteriormente, quedaría todavía por explicar en un sentido científico estricto, el por qué de la formación de los alcaloides. Protección, desintoxicación o regulación, caso de existir, serían consecuencias de la formación de los alcaloides, no sus causas, y corresponde al botánico experimental intentar dilucidar en función de las causas, y no de los resultados, cómo se encuentran los alcaloides en las plantas.

Este tipo de respuesta o explicación no puede darse todavía con plenitud de detalle para un alcaloide determinado, pero cabe establecerla en términos generales. Parece, sin embargo, que se ha escrito muy poco o nada sobre el particular. La formación de alcaloides es un acto metabólico en el que intervienen cadenas de reacciones más largas o más cortas, que es de suponer se inician de substancias normales y esenciales en el metabolismo de la planta en general. Es una convención aceptada en el momento presente que la biosíntesis de los alcaloides procede de los aminoácidos presentes en todas las plantas, sean o no productoras de alcaloides. La planta que forma alcaloides es aquella en que se ha desarrollado una adicional cadena de reacciones metabólicas. La distribución taxonómica de los alcaloides, con ciertos grupos característicos de alcaloides afines limitados a pequeños grupos de especies vegetales, se opinó por largo tiempo que abogaba en favor de este punto de vista; el escaso número de excepciones descubiertas posteriormente no ha

perjudicado dicha doctrina. La posesión de una cadena de reacciones particular es heredable, y una misma especie produce siempre idéntico grupo de alcaloides afines en proporciones más o menos determinadas y dentro de estrechos límites de concentración. Se ha comprobado ser muy difícil la modificación de estas afinidades, aun cuantitativamente, por medios experimentales sencillos. En otras palabras, el control primario de la serie de reacciones se encuentra en el complejo genético y se manifiesta en la impronta que establece sobre la estructura de las proteínas protoplásmicas, y en especial de las enzimas. Como otro proceso metabólico cualquiera, la formación alcaloide depende de cierto carácter del complejo de proteínas que conduce a las apropiadas reacciones químicas. Las variaciones del carácter pueden dar lugar a parecidos cambios en los procesos, dependiendo aquellas a su vez de los cambios del genotipo, productos de una mutación o hibridización. Los ejemplos de mutación metabólica son a veces muy sencillos. El control directo de una enzima dada por un solo gene se ha comprobado en los animales, el hombre, musgos, levaduras, algas y en las plantas fanerógamas [12]. Cabe en lo posible considerar la catálisis de la formación de una enzima específica por un gene específico como la conexión fundamental entre la genética y la bioquímica. El estudio bioquímico de los mutantes del musgo *Neurospora crassa* ha proporcionado magníficos ejemplos de las series sintéticas que dan lugar a los aminoácidos.

El proceso mejor estudiado desde este punto de vista entre las plantas superiores es la síntesis de los pigmentos de antocianina. Un ejemplo sencillo nos lo proporciona el gene que determina los colores de la flor de la *Primula sinensis*. El alele dominante tiende a la producción de un derivado de delfinidina, y el recesivo correspondiente tiende a la formación de pelargonidina. En el supuesto general de que la antocianidina primaria es cianidina, esto equivale al control de una reacción oxidante simple por parte del dominante, y a una reacción reductora simple por el recesivo [13]. Un ejemplo, probablemente de una sencillez parecida, se ha examinado entre los alcaloides. La *Nicotiana tabacum* produce la nicotina como su alcaloide principal, mientras que la *Nicotiana glauca* forma la anabasina afín. Cruzando las dos especies se observó [14] que la anabasina era el alcaloide principal de las plantas F_1; en generaciones posteriores se halló presente una mezcla de cantidades comparables de ambos alcaloides. Se ha sugerido que la anabasina de que se hizo mención contenía una gran proporción de nornicotina [15]. De ser así, parece como si la *Nicotiana glauca* poseyera un gene no presente en la *Nicotiana tabacum*, que domina una enzima causante de la eliminación del grupo N-metilo de la nicotina; hay otras pruebas corroboradoras de esta suposición. La substitución de la nicotina por anabasina entraña relaciones más complicadas.

La formación de una larga serie de reacciones mediante mutaciones sucesivas, cada una de las cuales desarrolla una etapa sencilla, es un proceso muy largo y hasta cierto punto improbable. No es necesario suponer que toda síntesis de los alcaloides se haya desarrollado de manera tan difícil. Algunos de los alcaloides más sencillos pueden originarse mediante series muy cortas de etapas químicas a partir de los aminoácidos. Por esto se ha sugerido razonablemente que la hordenina proviene de la tirosina en tres etapas: por descarboxilación del aminoácido a tiramina, seguida de dos sucesivas N-metilaciones a monometiltiramina y hordenina. Una sola mutación productora de una descarboxilasa de tirosina puede conseguir este resultado, ya que una enzima transmetilante con baja especificidad para el aceptor metílico puede ser parte de las substancias ya existentes en la célula. Parece que no hay razón para suponer que una enzima determinada no pueda participar en más de una serie de reacciones. Se sabe que existen en varios tejidos enzimas de los dos tipos anteriormente mencionados. Las series más largas de reacciones pueden quizás tener exigencias enzimáticas más moderadas de lo que parece a primera vista. No todas las etapas de la síntesis celular son necesariamente catalizadas por enzimas. Se ha comprobado que la formación de los alcaloides lobelanina y pseudopelletierina partiendo de precursores adecuados puede producirse *in vitro* sin catalizadores y a acideces próximas a la neutral [16]; y hasta es concebible que aun dentro de la célula algunas etapas sean espontáneas.

Una posibilidad interesante en extremo se desprende del hecho de no ser indispensable suponer que toda enzima nueva, o aparentemente nueva, requiere un gene nuevo o modificado para su formación. En la actualidad se sabe muy bien que muchas enzimas no se hallan constantemente en la célula, sino que aparecen tan sólo gracias a la actuación de un factor excitante. Las enzimas más comunes de este tipo son las llamadas adaptivas, que existen únicamente mientras la célula forma, o se introduce en ella, una substancia particular: su substrato. Las enzimas adaptivas

se encuentran más bien entre los organismos inferiores, especialmente las bacterias. Se las ha investigado muy poco entre las plantas superiores, y podría suponerse que no existen en estos tipos relativamente estables y metabólicamente menos sujetos a variación. Con referencia a dos fuentes, por lo menos, parece que hay pruebas de lo contrario. Desde hace mucho tiempo se sabe que la hidrólisis del almidón se cataliza en las primeras etapas de la germinación de la cebada mediante la β-amilasa. Luego de un corto intervalo hace su aparición la α-amilasa, que acelera la hidrólisis del almidón y de las dextrinas de cadena larga formadas por la β-enzima. Además se ha comprobado que en cuanto se inicia el agotamiento del carbohidrato, desaparece la α-amilasa. La curva de tiempo de la actividad de la α-amilasa durante la germinación, sigue muy de cerca la de concentración de las dextrinas de cadena larga [17]. Se limita su existencia tan sólo al tiempo en que están presentes las dextrinas capaces de dar reacciones de color con el yodo. Parece pues evidente que la presencia de una o más dextrinas puede promover la formación de α-amilasa, aunque no el almidón que es el substrato más complejo. Es interesante observar que el producto primordial de la actividad de la amilasa es la maltosa, pero que la mayor parte del almidón se degrada *in vivo* pasando a sucrosa, probablemente a consecuencia de la actividad rival de un sistema de fosforilasa. En el momento presente el carácter ventajoso de la actividad de la α-amilasa en favor del organismo es casi tan problemático como el de la formación misma de los alcaloides. Las enzimas adaptivas parecen así mismo encontrarse en los espádices del *Arum* y otros semejantes, en donde la desintegración de un exceso grande de almidón se verifica con gran velocidad, acompañada de una absorción de oxígeno unas cien veces más rápida que la de los tejidos adyacentes. La rápida degradación del almidón conduce a la formación de cantidades extraordinarias de intermediarios oxidables más allá de la capacidad oxidante normal del material celular. La mayoría de los tejidos de la planta parecen depender en mucho de una metalo-enzima como su oxidasa terminal, pero esta enzima no se encuentra en el espádice. Durante el período de respiración rápida, se desarrolla una enzima flavoproteínica en concentración relativamente elevada. El fenómeno muestra un interesante paralelo con el desarrollo de una enzima semejante en la levadura, cuando sus metalo-enzimas desaparecen por envenenamiento con un cianuro. El substrato para la flavoproteína es con toda probabilidad un nucleótido de piridina (co-enzima I o II), y se ha comprobado que la proporción de oxidación en los espádices de *Sauromatum* corre pareja con las concentraciones de estas substancias [18].

Una sencilla mutación de un gene puede, por consiguiente, poner en actividad toda una serie de nuevas reacciones que conducen a síntesis complejas e inicialmente impronosticables. Todos los cambios de esta naturaleza ocurrirán independientemente de que los productos primordiales sean útiles, fatales o indiferentes para las plantas. Mediante tales procesos es mucho más fácil concebir cómo ha llegado a tener existencia real y efectiva el rico acopio de entidades químicas formadas por las plantas. No es concebible que los millares de pigmentos, taninos, polisacáridos, glucósidos y alcaloides identificados ya, desempeñen un papel esencial y específico en las plantas. Estas, aun las superiores, no han alcanzado aún la etapa de la adaptación definitiva, con eliminación de todos los rasgos y procesos redundantes.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ripper, W. E., Greenslade, R. M., y Lickerish, L. A. *Nature, Lond.*, **163**, 787, 1949.

[2] Errera, L., Maistriau, y Clautriau, G. *Rec. Inst. bot. «Léo Errera», Brux.*, **2**, 147, 1906.

[3] Horowitz, B. *Aust. J. Sci.*, **4**, 179, 1942.

[4] «Poisonous Plants on the Farm». Ministry of Agriculture and Fisheries Bulletin No. 75.

[5] Trautner, E. M. Comunicación personal.

[6] Winterstein, E. y Trier, G. «Die Alkaloide». Borntraeger, Berlín. 1931.

[7] Schmidt, M. *Planta*, **20**, 407, 1933.

[8] Greathouse, G. A. y Watkins, G. M. *Amer. J. Bot.*, **25**, 743, 1938.

[9] Czapek, F. «Biochemie der Pflanzen», Vol. III. Fischer, Jena. 1922.

[10] James, W. O. en «The Alkaloids», ed. R. H. F. Manske y H. L. Holmes. Academic Press, Nueva York. 1950.

[11] Tschirch, A. «Handbuch der Pharmakognosie». Vol. 3. Leipzig. 1923.

[12] Beadle, G. W. *Chem. Rev.*, **37**, 15, 1945.

[13] Lawrence, W. J. C. y Price, J. R. *Biol. Rev.*, **15**, 35, 1940.

[14] Kusmenko, A. A. y Tikhvinskaya, V. D. *Bull. Acad. Sci. URSS, Biol. Sér.*, **4**, 564, 1940.

[15] Dawson, R. F. *J. Amer. chem. Soc.*, **67**, 503, 1945.

[16] Schopf, C. y Lehmann, G. *Liebigs Ann.*, **513**, 190, 1934.

[17] Hora, F. B. D.Phil. Tesis, Oxford, 1936.

[18] van Herk, A. W. H. *Rec. Trav. bot. néerl.*, **34**, 69, 1937.

La biología de los escorpiones

MAX VACHON

Las actuales características morfológicas del escorpión y sus semejanzas con los fósiles conocidos indican que este animal es una de las formas vivas más antiguas. Descripción de las condiciones ambientales que han determinado la evolución de las especies norteafricanas. Características ecológicas y fisiológicas que explican su estabilidad evolutiva. Descripción de los hábitos de detección y captura de la presa. Procesos digestivos. La reproducción y los distintos tipos de nutrición embrionaria.

MORFOLOGIA

La cabeza y el tórax de un escorpión, a diferencia de los de un insecto, forman una sola unidad llamada cefalotórax, que está cubierta con una coraza. Los escorpiones se diferencian de las arañas en que esta unidad se halla unida al abdomen, el cual termina en una cola o postabdomen. Detrás del cefalotórax hay siete segmentos correspondientes al abdomen y cinco a la cola; otro segmento más de ésta contiene la glándula del veneno.

Delante de la cabeza y apuntando hacia adelante, existen dos apéndices en forma de pinza, llamados quelíceros (Figs. 5 y 8). Hay cinco pares de patas, el primero de los cuales, los pedipalpos, es muy potente y termina en pinzas. Las bases de estas dos patas (Fig. 13) forman parte de la boca. Los otros cuatro pares son iguales entre sí y están destinados a la locomoción.

Detrás de las patas y cubriendo la parte ventral del cefalotórax, esto es al principio del abdomen y detrás de la región genital (Fig. 13), hay un par de interesantes apéndices, los peines. Estos son característicos de los escorpiones y se encuentran en ambos sexos, tanto en jóvenes como en adultos. Junto con la glándula del veneno, sirven para distinguir los escorpiones de los otros artrópodos.

Una rara anomalía que ha llamado mucho la atención es la duplicación de la cola. La Fig. 1 muestra una hembra adulta con dos colas idénticas, ambas perfectamente formadas. Esta división de la parte posterior del cuerpo afecta a veces una porción del abdomen; tiene su origen en el desarrollo embrionario, tratándose en realidad de un caso de gemelos incompletos.

LOS ESCORPIONES, FOSILES VIVIENTES

Los escorpiones son una de las formas de vida más antiguas de las presentes hoy en la tierra. Sólo se conoce poco más de un centenar de fósiles, pero hay que tener en cuenta que se trata de un animal terrestre cuyas probabilidades de fosilización son escasas. Los fósiles conocidos en todas las partes del mundo, nos muestran que los escorpiones han permanecido virtualmente inalterados durante cientos de millones de años. Los escorpiones fósiles se parecen a los actuales *Pandinus* (Fig. 4), poseyendo un par de quelíceros, un par de pedipalpos, cuatro pares de patas locomotoras, una glándula ponzoñosa y peines ventrales [10]. Resulta imposible clasificar erróneamente un escorpión fósil, y así los escorpiones actuales merecen describirse como «fósiles vivientes».

Sin embargo, no debe creerse, que los escorpiones no han evolucionado desde los tiempos primitivos. Es posible discernir diferencias de detalle entre los fósiles y los escorpiones actuales, que son el resultado de un proceso evolutivo [5, 6].

LA ESTABILIDAD DE LOS ESCORPIONES

Aunque los escorpiones sean «fósiles vivientes», durante cientos de millones de años han estado sometidos, como otras formas de vida, a grandes cambios geológicos y climáticos. ¿Cómo han podido resistir tales cambios, adaptarse a los mismos y sobrevivirlos? Recientemente hemos publicado un estudio sobre los escorpiones del Norte de Africa [9], de los cuales damos aquí dos ejemplos (Figs. 2 y 3), ofreciendo ciertas hipótesis para la explicación de estos hechos. El área estudiada no ha sido siempre el desierto que es en la actualidad; en el curso del tiempo ha sufrido una serie de períodos húmedos y de sequías. Después del último período de lluvias, al final del Cuaternario, un largo período de sequía transformó aquella región en un desierto. ¿Cómo pudo la fauna terciaria resistir esta catástrofe?

La presente distribución de los escorpiones saharianos es característica; son pocos en número y divididos en pequeñas colonias, últimas reliquias de una grandeza pasada. Hay regiones completamente desprovistas de agua en donde los

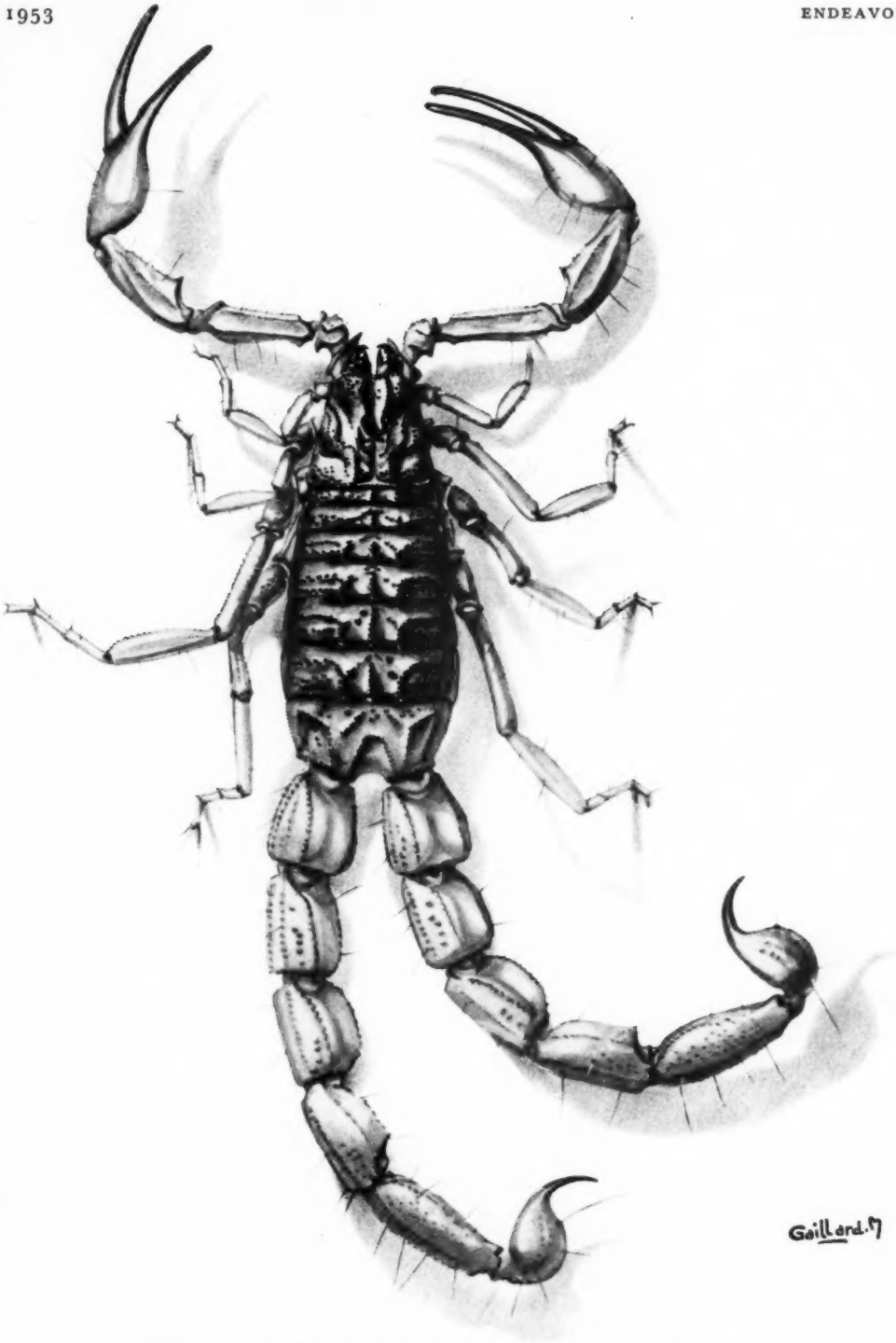


FIGURA 1 – Buthotus alticola (*Pocock*), *hembra adulta de Kabul (Afganistán), con dos colas perfectas. Longitud del cuerpo:* 9 *cm.*

FIGURA 2

FIGURA 3

FIGURAS 2 *y* 3 – *Dos escorpiones característicos del Norte de Africa.*

(2) Androctonus australis (*L*) hector *C. L. Koch, una especie mortífera de los bordes septentrionales del Sahara. Longitud del cuerpo:* 9,5 *cm.*

(3) Orthochirus innesi *E. Simon, una especie de los oasis del Sahara. Longitud del cuerpo:* 3 *cm.*

FIGURA 4 – Pandinus imperator (*C. L. Koch*), *hembra adulta de la Guinea Francesa. Longitud del cuerpo:* 18–20 *cm.*

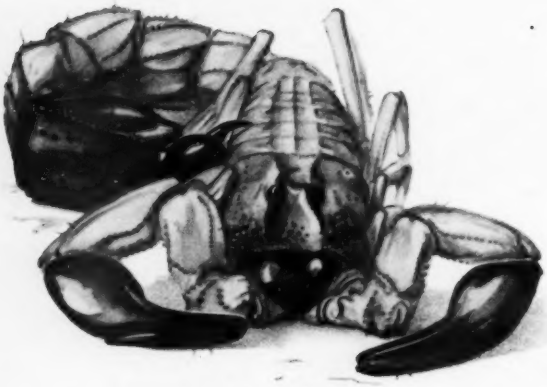


FIGURA 5

FIGURAS 5 y 6 – *Dos actitudes del* Androctonus australis (*L*) hector *C. L. Koch.*

(5) *En reposo. Queliceros claramente visibles.*

(6) *Posición defensiva o en busca de la presa.*

FIGURA 6

Gaillard.

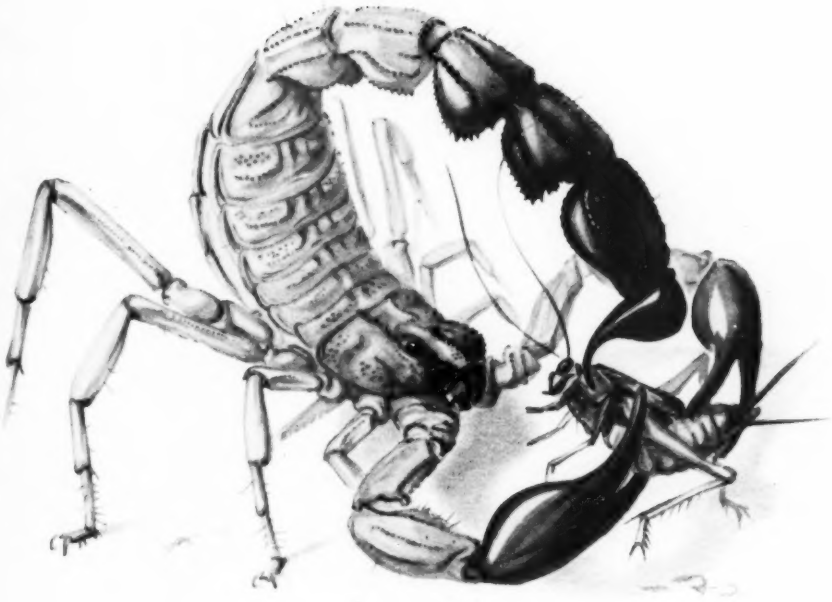


FIGURA 7

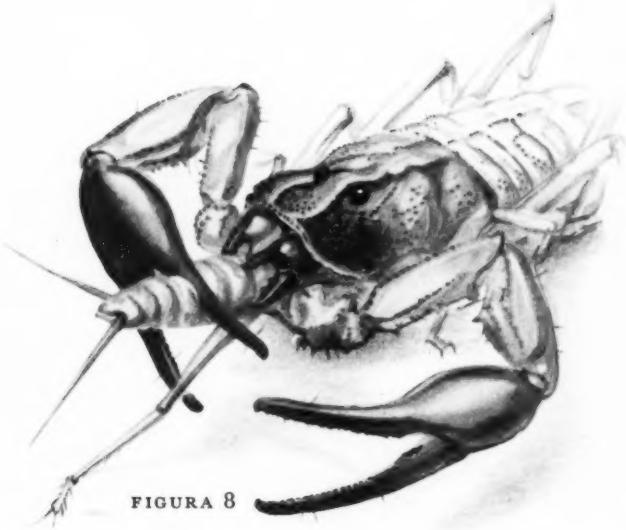


FIGURA 8

FIGURAS 7 *y* 8 – *Dos actitudes del* Androctonus australis (*L*) hector *C. L. Koch.*

(7) *Captura y anestesia de la presa.*

(8) *La presa es consumida, asida con una pinza y los dos queliceros.*

Gaillard.

FIGURA 9 – *Postura conocida como el* arbre droit (*según Fabre y observaciones del autor*) *que precede a la copulación en el* Buthus occitanus (*Am.*), *escorpión del Languedoc, Francia. La hembra está a la izquierda.*

escorpiones, como otros muchos animales, han desaparecido completamente; hay, sin embargo, regiones de mayor o menor tamaño, desde montañas a oasis, en donde las condiciones, aunque muy cambiadas, todavía permiten la existencia de vida. Además, los escorpiones viven bajo la tierra, debajo de piedras o en madrigueras, y pueden así hallar con relativa facilidad unas circunstancias ambientales que satisfagan sus necesidades y sean hasta cierto punto estables. Finalmente, no debemos olvidar que incluso los grandes cambios en el macroclima quedan muy amortiguados en las capas superficiales del terreno. Profundas investigaciones sobre la «microecología», especialmente de los insectos, indican que el microclima de las capas inmediatamente debajo de la superficie es casi independiente del macroclima exterior.

Los escorpiones han conseguido sobrevivir en condiciones de calor y sequía, debido primeramente a su morada subterránea y en segundo lugar porque todavía quedan algunas áreas en donde aun perduran sus antiguas condiciones de vida. Y, sobretodo, han sobrevivido gracias a su adaptabilidad ecológica.

Se cree generalmente que los escorpiones son característicos de las regiones secas y desiertas, pero dudamos que eso sea cierto. Ellos son los supervivientes de una fauna antigua, bastante abundante todavía, que existió en condiciones de temperatura y humedad muy diferentes. Su supervivencia se debe a que su ecología es muy amplia: sus posibilidades son grandes y sus requerimientos reducidos. No nos es posible detallar aquí este punto de vista, pero podemos mencionar ciertos resultados experimentales notables obtenidos sobre la alimentación y respiración de los escorpiones. Estos pueden, por ejemplo, permanecer durante semanas en un estado inerte, a temperaturas alrededor de 0° y volver en pocas horas a una vida normal. Pueden resistir sin daño alguno la inmersión total en agua durante varios días o bien la extirpación de siete de los ocho pulmones que poseen [4]. Tienen así unas notables posibilidades de hematosis y un reducido coeficiente respiratorio. Además, con sus lentos movimientos, consumen muy poca energía. Y lo que es todavía más importante, pueden hartarse de alimento en pocas horas o sobrevivir sin comer muchos meses, incluso durante más de un año. Los escorpiones son un ejemplo patente de seres cuya supervivencia proviene no del hecho de que sus alrededores hayan permanecido inalterados, sino de su capacidad de neutralizar los grandes cambios del medio gracias a su morada subterránea; además su notable fisiología les permite grandes variaciones en el ritmo de su existencia.

DETECCION Y CAPTURA DE LA PRESA

La alimentación de los escorpiones consiste en seres vivos de muchas clases que conviven en el mismo medio que ellos: insectos (adultos y larvas), arañas, ciempiés e incluso pequeños roedores. La manera de capturar la presa ha sido frecuentemente observada y las descripciones de los naturalistas de la antigüedad son bien conocidas. Las siguientes son algunas de sus actitudes características. Descansando o durmiendo (Fig. 5), el escorpión permanece inmóvil, con su superficie abdominal en el suelo, la cola plana y las patas recogidas. Cuando está hambriento o si observa una víctima cambia su actitud (Fig. 6); el escorpión avanza lentamente, apoyándose en las patas traseras, las pinzas extendidas y abiertas y la cola levantada y curvada hacia adelante. Frecuentemente el escorpión titubea y la captura parece casi accidental, un acto de defensa más bien que de ataque. Si la presa es rápida y activa, el escorpión puede retirarse por poco tiempo, pero aguarda pacientemente y por fin consigue su propósito. Entonces, y especialmente si la víctima lucha, inserta su aguijón donde mejor puede (Fig. 7), frecuentemente sin dudar, y la presa retenida en sus pinzas es arrastrada hacia los quelíceros. Con estos la retiene e inflige profundas heridas, a través de las cuales escapan las entrañas pasando hacia la boca del escorpión. Los quelíceros representan la parte más importante en esta operación: rompen los tejidos de la víctima, de la cual sólo resta al final una masa de resíduos inabsorbibles; el animal se desprende de éstos empleando las pinzas como mondadientes.

No se ha puesto todavía en claro cómo descubre el escorpión su presa. Sus ojos son demasiado rudimentarios para servir de mucho; además el escorpión es un animal nocturno para el cual las impresiones visuales no deben tener un gran significado. Por lo tanto, deben intervenir otros órganos, especialmente los pelos sensoriales o tricobotrias, que se hallan solamente en los pedipalpos. Estos pelos existen ya a su nacimiento y su número y posición no se alteran durante el desarrollo. Tienen una considerable importancia para la clasificación (Figs. 10, 12) y su inmutable apariencia indica que son carácteres muy antiguos y enteramente diferenciados desde épocas remotas. Las tricobotrias son fácilmente reconocibles por su punto de inserción, que se parece al brocal de

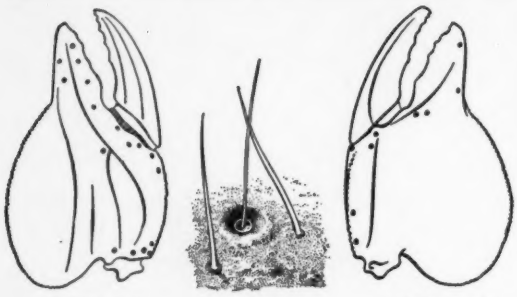


FIGURA 10 FIGURA 11 FIGURA 12

FIGURA 10 – *Pinza del* Scorpio maurus (*L*), *escorpión del Norte de Africa que vive en madrigueras. Vista de la cara superior, mostrando los pelos sensoriales.*

FIGURA 11 – *Pelo sensorial, muy aumentado, entre dos pelos ordinarios.*

FIGURA 12 – *La misma pinza que en la Fig.* 10. *Vista de la cara inferior.*

un pozo (Fig. 11), por su delicadeza y por la delgadez de la membrana que las une al tegumento. Están copiosamente provistas de nervios y pueden ciertamente detectar débiles corrientes de aire ocasionadas por los movimientos de la presa. De hecho, son como diminutos receptores orientados en todas direcciones y espaciados a lo largo de los pedipalpos, los cuales cuando están extendidos actúan como inmensas antenas.

DIGESTION EXTERNA

El escorpión ha de triturar a su presa debido a que la boca sólo es capaz de recibir líquidos. Los órganos digestivos incluyen un potente esófago que chupa el contenido líquido de la víctima hacia el intestino medio, en donde puede digerirse.

Los escorpiones no son los únicos animales que chupan a la presa; lo más excepcional es que la digestión se efectúa parcialmente fuera del cuerpo gracias a las potentes enzimas emitidas periódicamente mientras se alimentan; en esto se parecen a otros arácnidos. De vez en cuando mientras el escorpión se alimenta, cesa de absorber y regurgita liquido sobre la víctima. Parece ser que este líquido se origina en el intestino medio, el cual es rico en tejido glandular, y lo que el escorpión regurgita durante su comida es bilis. El estudio de la digestión externa en otros arácnidos, particularmente las arañas y pseudoescorpiones, hace creer que la desintegración de los tejidos de la víctima se produce no sólo mediante este flúido intestinal sino también mediante las secreciones de glándulas especializadas, análogas a las glándulas salivares, que se vierten sobre la víctima en el momento de la regurgitación. La anatomía del escorpión no es lo suficientemente conocida para que esta analogía con los otros arácnidos sea completamente aceptable, pero parece que el flúido regurgitado está activado por otras substancias segregadas por las glándulas especializadas y a veces, como en ciertas arañas, por el veneno mismo. Nosotros hemos señalado recientemente [8] que el veneno no debe considerarse exclusivamente en relación con la captura de la presa, sino que está también relacionado con la función de nutrición, formando una parte, quizás la mejor conocida, del complejo fisiológico que constituye la digestión externa. Incluso en los escorpiones el veneno representa un papel en este complejo y no solamente acorta la resistencia de las víctimas, sino que también ayuda, gracias a su acción catalítica o química, al mismo proceso digestivo.

REPRODUCCION Y NUTRICION DEL EMBRION

En los escorpiones los sexos están diferenciados, aunque sean mutuamente parecidos excepto en pequeños detalles. La fertilización requiere la unión de ambos sexos y va acompañada de curiosas exhibiciones. Maccary [2] y Fabre [1] han descrito algunas de ellas, como la *promenade à deux* en que el macho y la hembra se pasean de la mano, y el *arbre droit* según el cual los dos animales

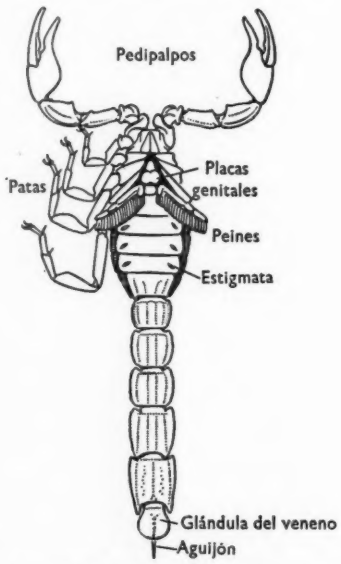
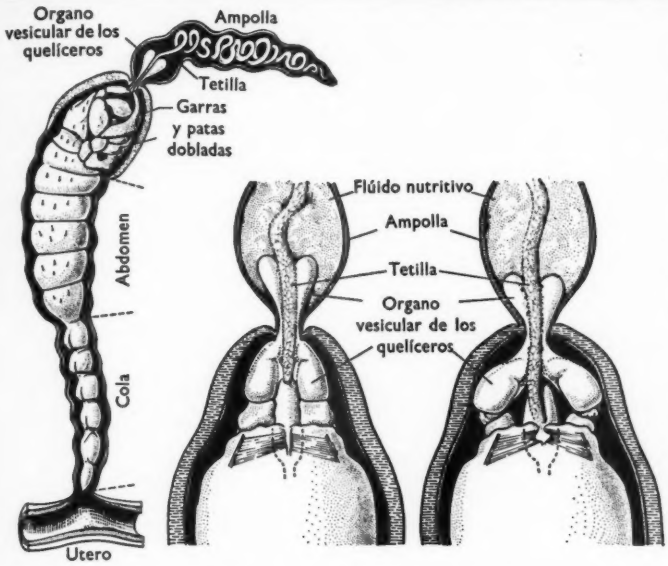


FIGURA 13 – Androctonus australis (*L*), *hembra. Superficie ventral, mostrando las partes del cuerpo. Longitud total:* 8 *cm.*



FIGURAS 14–16 – *Embriones del* Ischnurus ochropus *C. L. Koch, del Africa Oriental.*

(14) *Divertículo del útero conteniendo el embrión y mostrando el «biberón».*

(15 *y* 16) *Representación diagramática de las secciones horizontales de la parte anterior del divertículo, mostrando la relación entre los quelíceros del embrión y el pezón; este último puede ser traído hacia la boca mediante los quelíceros* (*Fig.* 16).

parecen luchar (Fig. 9). No hemos observado la conclusión de estas danzas nupciales, pero la investigación anatómica confirma las descripciones de los primeros investigadores; el macho fertiliza a la hembra directamente según una cópula perfecta, lo que raramente ocurre con los otros arácnidos. Durante este acto, el macho proyecta ciertos órganos especiales para formar un pene temporal, mediante el cual inserta los espermatóforos y finalmente coloca un tapón vaginal, como una especie de himen postnupcial [9, págs. 31–6].

El desarrollo de los huevos fertilizados dentro de la hembra varía según que los huevos sean ricos en yema, tal como en el *Buthidae*, o carezcan de ella, como en el *Scorpionidae*. En el primer caso los huevos pasan rápidamente hacia el oviducto y allí se desarrollan, consumiendo la yema de que están provistos; en el segundo caso, los huevos fecundados permanecen en su lugar y se unen íntimamente con los tejidos maternos. Al final de su desarrollo cada embrión descansa en un divertículo que posee una extensión tubular, la cual, formando casi un cordón umbilical, se aplica a la pared del intestino de la madre de donde obtiene las substancias nutritivas por ósmosis. Los alimentos quedan transformados por las secreciones glandulares y entonces pasan a través del tubo hasta la misma boca del embrión. Puede describirse casi como un biberón, ya que A. P. Mathew [3] ha demostrado que en esta fase el embrión del escorpión tiene una faringe bien desarrollada y chupa los flúidos maternos. Los quelíceros (Fig. 15) se terminan en unos órganos vesiculares contráctiles que pueden tomar el pezón y traérselo a la boca. En otro lugar hemos descrito este notable proceso de nutrición embrionaria [7]. Vemos pués que aunque muy parecidos exteriormente, existen notables diferencias internas entre los diferentes escorpiones.

CONCLUSIONES

Los escorpiones son un ejemplo de un tipo que pronto alcanzó un elevado grado de perfección; posteriormente han permanecido sin cambiar, degenerando o desapareciendo, pero sin dar lugar a formas nuevas. Los escorpiones no son estructuras intermedias en la evolución animal; han seguido su propio destino evolutivo en una dirección determinada. Durante centenares de millones de años han seguido su propia trayectoria, alcanzando una forma que ha resistido tan admirablemente las catástrofes de las épocas geológicas pasadas que parece no hay razón para dudar de su indefinida permanencia.

BIBLIOGRAFIA

[1] FABRE, J. H. «Souvenirs Entomologiques». J. H. Delagrave, París. 1923.

[2] MACCARY, A. «Mémoire sur le Scorpion qui se trouve sur la Montagne de Cette». Gabon, París. 1810.

[3] MATHEW, A. P. *Proc. Indian Acad. Sci.*, **27**, 4, 111, 1948.

[4] MILLOT, J. y PAULIAN, R. *Bull. Soc. zool. Fr.*, **58**, 97, 1943.

[5] PETRUNKEVITCH, A. *Syst. Zool.* **1**, 1, 1952.

[6] *Idem. Amer. Scient.*, **40**, (1), 99, 1952.

[7] VACHON, M. *Arch. Zool. exp. gén.*, **86**, 3, 137, 1950.

[8] *Idem. C.R. Acad. Sci., Paris*, **233**, 205, 1951.

[9] *Idem.* «Etudes sur les Scorpions». Institut Pasteur d'Algérie. 1952.

[10] *Idem*, en «Traité de Zoologie» par P.-P. GRASSÉ, vol. 6 (en colaboración con J. MILLOT). Masson, París, 1949.

Polielectrólitos

A. KATCHALSKY

Los polielectrólitos son polímeros cuyas moléculas llevan cargas eléctricas. De gran importancia en bioquímica, sus propiedades pueden estudiarse más fácilmente en disoluciones de los compuestos sintéticos más simples. El autor discute los efectos del grado de ionización sobre la presión osmótica, la actividad, la adsorción a las superficies bacterianas y la forma molecular. Experimentos sobre los geles confirman la teoría de los cambios mecanoquímicos.

INTRODUCCION

Cuando el interés sobre el descubrimiento de los fenómenos coloidales empezaba a decrecer y este «mundo de desdeñadas dimensiones», como Ostwald lo denominó, estaba en peligro de estancarse, el desarrollo de la química de los polímeros imprimió nuevo ímpetu a la investigación coloidal.

Ya hacia 1932, Staudinger y sus seguidores [1] se dieron cuenta de que las unidades de los polímeros orgánicos sintéticos deben considerarse, no como agregados coloidales de pequeñas moléculas, sino como cadenas moleculares muy largas de dimensiones coloidales que están unidas por enlaces de valencia química. Según este punto de vista, no es el carácter micelar del polímero lo que explica sus propiedades; éstas se deben a las notables características de las cadenas moleculares. Esta fértil idea, que es la base de toda la investigación moderna sobre los plásticos, influyó también poderosamente en las ideas sobre la naturaleza de los coloides biológicos y la organización de las células y tejidos.

Con el rápido desarrollo de la industria de los plásticos, la atención de los químicos dedicados a los polímeros se concentró principalmente en los polímeros no polares que son insolubles en agua y poseen una reactividad química reducida. Durante los últimos cinco años ha empezado a crecer el interés sobre los polímeros solubles en agua relacionados con los biocoloides. Aunque las posibilidades industriales de estos polímeros sólo empieza a explorarse, su notable comportamiento, descrito más adelante, es tan interesante desde el punto de vista teórico que merece ser presentado a un círculo de lectores más amplio.

Entre los biocoloides, los polímeros que acarrean cargas eléctricas ofrecen especial importancia. A tal grupo pertenecen las proteínas que llevan cargas positivas o negativas; las protaminas que son predominantemente positivas; gran número de los ácidos negativos de cadena larga, como los ácidos nucleico, péctico y algínico; y numerosos poliácidos de origen bacteriano. Todas estas moléculas de cadena larga, que combinan el comportamiento de polímeros y electrólitos, han sido denominados polielectrólitos.

Este artículo se ciñe principalmente a los polielectrólitos sintéticos, que poseen una estructura más simple, consistente en una o dos unidades repetidas que contienen los grupos ionizables. Los ácidos poliacrílicos, ya investigados por Staudinger y sus colaboradores, son polielectrólitos sintéticos típicos de fórmula

$$-CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-CH_2-;$$

también lo son las poliaminas del tipo polivinilamina,

$$-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-CH_2-$$

y los copolímeros amfolíticos compuestos de monómeros ácidos y básicos.

Aunque estos simples compuestos sintéticos carecen de la versatilidad (debido a una estructura variable) que dota a los biocoloides de un número de propiedades físicas, químicas y biológicas, su simplicidad es una ventaja para el investigador. Hace que su comportamiento sea más adaptable a una investigación teórica y puede proporcionar una guía para dilucidar el comportamiento de los biocoloides.

FENOMENOS OSMOTICOS

El comportamiento característico de los polielectrólitos se manifiesta más completamente en las disoluciones acuosas. Si se neutraliza una disolución acuosa de un ácido o base poliméricos con un álcali o con ácido mineral respectivamente,

esta disolución será marcadamente distinta de las disoluciones de electrólito o polímero ordinarios, en su comportamiento osmótico y viscométrico, y en las interacciones con los electrólitos.

Consideremos, primeramente, los efectos directos del campo electrostático de los polielectrólitos. Es evidente *a priori*, que los grupos ionizados acumulados en una cadena molecular en números considerablemente grandes, que pueden alcanzar más de diez mil cargas, producirán un potente campo electrostático alrededor de la molécula. Este campo influirá poderosamente sobre otras cargas eléctricas que suelen hallarse en el medio; por ejemplo, los contra-iones de sodio que rodean un poliácido ionizado serán fuertemente atraídos hacia las moléculas cargadas del polímero, y su movimiento libre en la disolución estará seriamente restringido. Tal restricción disminuirá la contribución osmótica de los iones; de aquí que la presión osmótica de una disolución de polielectrólito sea mucho menor que la de las disoluciones ideales. La Fig. 1 demuestra la comprobación experimental de este aserto. Puede verse que la desviación con respecto al ideal aumenta con el grado de ionización, hasta que para elevados grados de ionización la presión osmótica puede ser sólo 1/5 del ideal.

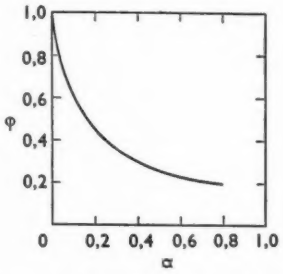


FIGURA 1 – *Actividad osmótica del ácido poliacrílico neutralizado según grados diferentes* (α) *con hidróxido de sodio.* φ *es la relación entre la presión osmótica experimental y la ideal.* (*Según Kern, W.*, Z. phys. Chem., *A*, **181**, 249, 1938.)

Simultáneamente con las mediciones de la presión osmótica se determina la actividad, el equivalente de la concentración en las soluciones reales. La actividad de los contra-iones disminuye en presencia de los polielectrólitos ionizados. En la Fig. 2 nuevas mediciones de los coeficientes de actividad [2] de los contra-iones en disoluciones de polielectrólito indican que su actividad disminuye cuando aumenta la ionización. Sin embargo, al añadir una sal neutra este efecto poli-

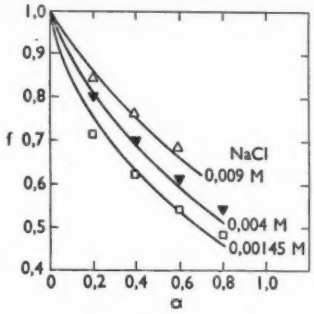


FIGURA 2 – *Actividad del cloruro sódico en disoluciones acuosas de ácido polimetacrílico ionizado. La concentración del ácido polimérico es* 0,05 *M en todos los casos. Las concentraciones de cloruro sódico son* Δ 0,009 *M;* ▼ 0,004 *M; y* □ 0,00145 *M;* α *es el grado de ionización del ácido polimetacrílico, y* f *es la relación entre la actividad de la sal en presencia de polielectrólito y la en disolución libre de polielectrólito.* (*Según mediciones de O. Kedem.*)

electrolítico disminuye; a una concentración de sal suficientemente elevada la actividad de los contra-iones se acerca a la de la sal en disoluciones libres de polielectrólito. Esto se debe a que los iones de sal se arraciman alrededor de las moléculas de polielectrólito y blindan el campo electrostático.

INTERACCION DE LOS POLIELECTROLITOS

Según los cálculos realizados en el laboratorio del autor, la energía de atracción ejercida por un ácido poliacrílico completamente ionizado sobre un ión univalente es 2,5 kcal/mol-ion, que es casi cuatro veces la energía térmica de los iones. Como la atracción aumenta rápidamente con la valencia de los contra-iones, no es sorprendente que tengan lugar notables interacciones entre los polímeros ionizados y los iones polivalentes.

Estas reacciones han sido recientemente aplicadas, con halagüeños resultados, a problemas prácticos de agricultura. Tal como lo predice la teoría, se observó que el ácido poliacrílico cargado interactúa vivamente con las partículas del suelo, siendo causa de que se agreguen en terrones. Esto mejora, con frecuencia, la textura de los terrenos pesados y aumenta la fertilidad de los terrenos poco aireados y relativamente impermeables. Tal uso de las sales solubles de los ácidos poliacrílico y polimetacrílico no sólo abre nuevos horizontes para la agricultura sino que marca la incorporación de los polielectrólitos a la vida práctica.

Cuando dos moléculas de polielectrólitos sintéticos de signo opuesto se encuentran mutuamente, su interacción es todavía más fuerte. Este tipo de

interacción se lleva a cabo fácilmente en el tubo de ensayo y causa la precipitación de los polielectrólitos. Además, tal interacción es de gran importancia en la organización de la estructura biológica; son ejemplos típicos la interacción de las proteínas en el citoplasma, la interacción del ácido hialurónico y otros con el colageno del tejido conjuntivo, y la interacción de las protaminas e histonas con los ácidos nucleicos en los cromosomas. Se sospechaba que la interacción polielectrolítica ácido-base era también una de las formas más primitivas y fundamentales de defensa biológica contra los microorganismos. Bloom, Cromartie y sus colaboradores [3] lo comprobaron, hallando que el bacilo del ántrax segrega ácido poliglutámico, que es un polielectrólito negativo típico, que es contrarrestado *in vivo* por el «factor del tejido» segregado por los leucocitos. El factor del tejido es un polielectrólito positivo, al parecer, íntimamente relacionado con la polilisina sintética [4]. Este descubrimiento sugiere un nuevo camino para la antibiosis basado no sobre los antimetabolitos sino sobre interacciones polielectrolíticas.

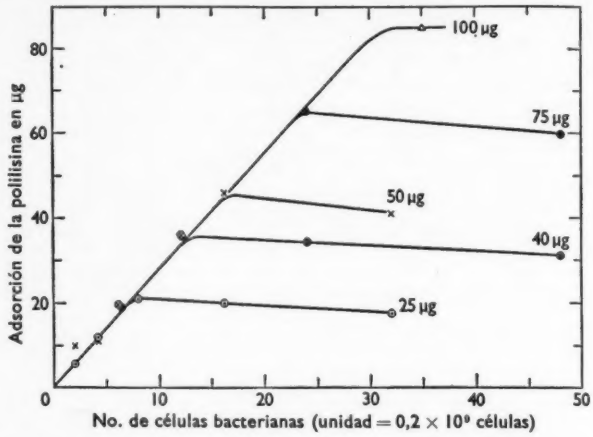


FIGURA 3 – *Adsorción de polilisina sobre* E. coli. *A las soluciones de polilisina conteniendo* ⊙ 25 µg/*ml*, ⊗ 40 µg/*ml*, × 50 µg/*ml*, ● 75 µg/*ml* y Δ 100 µg/*ml de polilisina, se añaden cantidades diferentes de bacterias. La adsorción procede linealmente primero, quedando cada bacteria completamente cubierta de polilisina. Cuando casi toda la polibase ha sido adsorbida, las curvas se aplanan, ya que cesa toda adsorción* [5].

Además, los polielectrólitos básicos reaccionan directamente con las superficies de las células debido a que la mayoría de tales superficies están cargadas negativamente. Cuando se añade polilisina a las suspensiones de *Escherichia coli* y *Micrococcus aureus*, en concentraciones tan bajas como de 10 µg/ml las bacterias se precipitan. Mediciones recientemente llevadas a cabo en este laboratorio [5] muestran que casi todas las moléculas del polielectrólito básico se han fijado sobre la superficie bacteriana; el potencial electrostático de la célula bacteriana disminuye, y se reduce su estabilidad en disolución, resultando de ello una agregación y precipitación. La Fig. 3 corresponde a un experimento típico, mostrando la fijación de la polilisina sobre la superficie bacteriana.

En la actualidad se están investigando interesantes aplicaciones farmacológicas de este fenómeno.

LA FORMA MOLECULAR

Luego de haber visto los efectos directos del campo electrostático sobre el medio circundante de las moléculas de polielectrólito, consideremos ahora el efecto de los factores electrostáticos sobre las características específicamente poliméricas de las moléculas.

El primer paso tradicional al investigar un polímero es la medición de la viscosidad de su disolución. La viscosidad específica[1] dividida por la concentración del polímero proporciona una indicación sobre la forma molecular e, indirectamente, sobre el peso molecular del polímero. Las mediciones viscométricas de los polielectrólitos muestran que la viscosidad específica cambia acentuadamente con el grado de ionización, quiere decir, la forma molecular se altera debido al campo electrostático. La Fig. 4 muestra un grupo típico de curvas viscométricas [6] para el ácido polimetacrílico en solución acuosa para grados de ionización diferentes. Las curvas dadas para seis polímeros de pesos moleculares diferentes muestran un agudo incremento de la viscosidad específica al aumentar la ionización, hasta que la viscosidad alcanza un límite superior hacia una ionización del 30%. Como la viscosidad aumenta con la longitud de la molécula, las curvas pueden interpretarse como una indicación de que las moléculas se alargan progresivamente, debido al aumento de la intensidad del campo electrostático, hasta alcanzar su longitud límite.

Cuantitativamente, si se traza una gráfica de las viscosidades específicas en función del peso molecular, para un grado de ionización constante muy bajo, puede observarse que la viscosidad

[1] Si la viscosidad del disolvente es η_0 y la de la disolución del polímero es η_s, entonces la viscosidad específica es $(\eta_s - \eta_0)/\eta_0$.

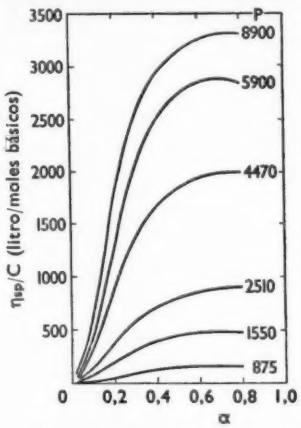


FIGURA 4 – *Viscosidad específica* (η_{sp}) *dividida por la concentración* (C), *en función del grado de ionización*, α, *para seis ácidos polimetacrílicos de grados diferentes de polimerización* (P). *Los grados de polimerización, o números de moléculas sencillas por macromolécula, son* 875, 1550, 2510, 4470, 5900 *y* 8900. *El peso molecular del monómero es* 86; *de aquí que el peso molecular del polímero será* P × 86. *La concentración del ácido polimérico es* 0,01 *monomolar* [6].

aumenta según la raíz cuadrada del peso molecular. Teóricamente, para ionizaciones tan bajas las cadenas moleculares están enrolladas tan juntamente que toman casi una forma esférica. Si se traza una gráfica semejante para una ionización de un 10–20%, se observa que para estos valores la viscosidad específica crece linealmente con el peso molecular. Teóricamente, esta segunda relación indica que las moléculas se comportan ahora como enrollamientos flexibles, torcidos o doblándose al azar. Por último, la gráfica para una zona de ionización más alta muestra que la viscosidad aumenta según el cuadrado del peso molecular. Esto se debe, teóricamente, a la completa extensión de las moléculas, que se parecen ahora a delgados filamentos.

Debe, por tanto, inferirse que el campo electrostático actúa no solamente sobre los iones exteriores sino que influye notablemente en la forma de las moléculas mismas, alargando en forma de filamentos completamente extendidos aquéllas que inicialmente estaban enrolladas.

En polimoléculas no polares el único factor determinante de forma es el movimiento térmico, llamado movimiento browniano. Los impactos térmicos del medio circundante hacen que los segmentos moleculares giren alrededor de los enlaces químicos y la molécula toma todas las formas posibles que, en promedio, le dan la forma de un enrollamiento al azar. En el proceso de dar forma a las moléculas de polielectrólito, influyen tanto el movimiento térmico como la repulsión electrostática. Así, la forma es el resultado del equilibrio entre la tendencia térmica al enrollamiento por una parte, y la repulsión entre cargas de signos iguales por otra. Para grados de ionización reducidos, las fuerzas electrostáticas son demasiado débiles para vencer el enrollamiento térmico, pero para una ionización suficientemente alta el campo electrostático alarga las moléculas hasta la longitud máxima. Además, este proceso de dar forma es reversible: si se neutralizan las cargas añadiendo ácido mineral al poliacrilato sódico, por ejemplo, las moléculas se enroscan volviendo a su forma original enrollada.

MECANO-QUIMICA

Estos fenómenos, en los que la ionización es causa de expansiones y contracciones de la molécula, son muy interesantes desde un punto de vista general, ya que aquí tenemos un posible modelo en escala molecular para el estudio de la transformación directa de la energía de neutralización química en un efecto mecánico. El paso siguiente fué ver si estos movimientos moleculares podían multiplicarse para ser observados en una escala macroscópica. De hecho, la naturaleza proporciona tales dispositivos, ya que los músculos y otras partes motoras de los seres vivos se dilatan y contraen como resultado de transformaciones químicas. Resultaba interesante averiguar si los sistemas de polielectrólitos sintéticos se dilataban y contraían según una escala macroscópica tal como lo hacían en solución. Los sistemas que más fácilmente responden de esta manera, son los geles polielectrólitos de enlaces transversales.

Un gel polímero es una estructura molecular empapada de líquido. Los puntos de enlace son capaces de transmitir efectos mecánicos a través del gel, asimilándole así a una estructura sólida. Por lo tanto, es razonable asumir que en los geles polielectrolíticos los efectos mecánicos de la ionización y desionización se transmitirán a través de la estructura produciendo una dilatación y contracción generales.

Estimulados por esta idea, varios laboratorios intentaron simultáneamente preparar geles poliácidos sintéticos. Se halló que los geles realmente se dilataban con la adición de un álcali y se contraían al añadir un ácido mineral. Calentando el ácido poliacrílico con alcoholes polivalentes para conseguir un cierto grado de esterificación, W. Kuhn [7] obtuvo geles ácidos con enlaces transversales. En este laboratorio se obtuvieron

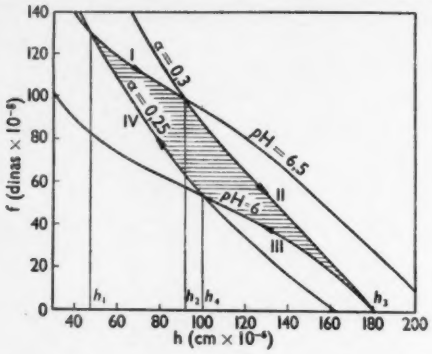


FIGURA 5 – *Ciclo mecano-químico de moléculas paralelas de ácido polimetacrílico con un grado de polimerización de* 10 000. *El ciclo opera entre grados de ionización* $\alpha = 0{,}25$ *y* 0,3 *y un* p*H de* 6 *a* 6,5 *a temperatura constante.* f *es la fuerza por molécula en dinas y* h *es la longitud de la molécula. El área rayada indica el trabajo mecánico proporcionado por el ciclo gracias a la diferencia de potencial químico para ambos* p*H* [6].

geles poliácidos mediante la copolimerización del ácido metacrílico con agentes favorecedores de enlaces transversales, tales como el benceno divinílico [8]. Se halló que los geles polifosfatos, que se obtenían por la fosforilación del alcohol polivinílico con enlaces transversales, podían dilatarse hasta tres veces su longitud mediante un álcali y ser después completamente contraídos por un ácido mineral [9]. Según muchos autores el comportamiento de estos geles se parece al de los sistemas musculares [10].

Si fijamos un peso a un hilo formado con uno de tales geles, la contracción y dilatación del hilo de gel levantará y descenderá el peso realizando así un trabajo mecánico real. Por lo tanto, el gel transforma en energía mecánica parte de la energía liberada por el proceso de neutralización y actúa así como un motor mecano-químico elemental.

Aunque esta transformación puede ser completamente reversible en el sentido termodinámico, los rudimentarios sistemas mecano-químicos así obtenidos, solamente pueden transformar pequeñas cantidades de energía química en trabajo útil, debido a la limitada extensibilidad de las moléculas.

La Fig. 5 indica un ciclo mecano-químico elemental para un gel poliácido anisotrópico; es un ciclo de compresión y tiene cierto parecido con el conocido ciclo de Carnot [6]. Sin embargo, el ciclo mecano-químico es isotérmico; la fuente de su energía proviene de la diferencia en el grado de ionización, mientras que el ciclo de Carnot opera según un gradiente de temperatura.

El hecho de que la actuación de los sistemas de geles sea restringida es, en parte, debido a que todos los modelos actuales son isotrópicos. El análisis teórico muestra que los geles anisotrópicos, en los cuales las moléculas yacen paralelas, contrayéndose y dilatándose a lo largo de un eje sin cambios de volumen, deberían tener mayores posibilidades mecano-químicas. Desde este punto de vista, la magnífica anisotropía de las fibras musculares demuestra el rendimiento de la estructura de los tejidos vivos.

El sistema morfo-dinámico peculiar de los polielectrólitos es solamente una de las formas según la cual la energía química puede transformarse en energía mecánica en las estructuras macromoleculares. Durante los últimos años se han investigado otras reacciones poliméricas, y poco a poco se ha puesto en evidencia que no solamente la repulsión electrostática sino la atracción de van der Waals, los enlaces de hidrógeno y las tendencias de cristalización pueden emplearse como fuentes de potencial para las transformaciones mecano-químicas [11].

Partiendo de estas investigaciones se está desarrollando una ciencia general mecano-química, a la cual han contribuído notablemente las investigaciones polielectrolíticas.

BIBLIOGRAFIA

[1] STAUDINGER, H. «Die hochmolekularen organischen Verbindungen». Springer, Berlín. 1932.

[2] KATCHALSKY, A. y LIFSON, S. (mediciones de O. KEDEM). *J. Polym. Sci.* (en prensa).

[3] CROMARTIE, D. W., BLOOM, W. L., HECKLY, R. J., MCGHEE, W. J. y WEISSMAN, N. J. *J. infect. Dis.*, **80**, 121, 1947.

[4] KATCHALSKY, E., GROSSFELD, I. y FRANKEL, M. *J. Amer. chem. Soc.*, **70**, 2094, 1948.

[5] BICHOVSKY-SLOMNITZKY, L. Comunicación particular.

[6] KATCHALSKY, A. *J. Polym. Sci.*, **7**, 393, 1951.

[7] KUHN, W. *Experientia*, **5**, 318, 1949.
KUHN, W., HARGITAY, B., KATCHALSKY, A. y EISENBERG, H. *Nature, Lond.*, **165**, 154, 1950.

[8] KATCHALSKY, A. *Experientia*, **5**, 319, 1949.

[9] KATCHALSKY, A. y EISENBERG, H. *Nature, Lond.*, **166**, 269, 1950.

[10] MORALES, M. y BOTTS, J. *Trans. Faraday Soc.*, 1952. En prensa.

[11] PRYOR, M. G. M. *Progr. Biophys.*, **1**, 216, 1950.

El efecto Szilard-Chalmers

A. G. MADDOCK

Estudio de los efectos químicos producidos por las transformaciones nucleares: efectos del retroceso debido a la emisión de partículas, ionización del átomo en desintegración, excitación de los electrones orbitales. La captura de neutrones como causa de la descomposición molecular. La energía de retroceso y sus efectos sobre los enlaces químicos. Fenómenos de conversión interna. La re-formación de las moléculas de la substancia irradiada durante el proceso de retardamiento. El efecto de Szilard-Chalmers y los fenómenos de re-formación en los haluros orgánicos. La teoría de las colisiones y los efectos sobre las transformaciones químicas en el estado líquido y en el estado sólido.

Los efectos químicos directos que se derivan de las transformaciones nucleares pueden tener tres causas distintas:

1. La emisión bien de partículas o bien de fotones produce un efecto de retroceso en el núcleo en desintegración, manteniéndose constante la cantidad de movimiento. Los efectos mecánicos de este retroceso, resultado de la emisión de partículas pesadas, fueron ya observados poco después del descubrimiento de la radiactividad [1]. El retroceso es muy marcado en el caso de las partículas α, pudiendo manifestarse como una seudovolatilidad de las substancias activas: la energía de los retrocesos individuales es lo suficientemente elevada para que el átomo de retroceso arrastre varios de los átomos radiactivos indivisos que le rodean [2]. Esta separación física de las substancias inicial y final producida por el retroceso se ha utilizado, en condiciones de apropiada distribución, para la separación de miembros sucesivos de la serie de radiactividad natural [3]. La energía de retroceso que sigue a una emisión fotónica es, por lo general, mucho menor que la de la emisión de partículas. Su valor

$$E^2/2Mc^2 = 536E^2/M,$$

donde E es la energía fotónica expresada en millones de electronvoltios, M es la masa del átomo de retroceso expresada en unidades de masa atómica, y la energía de retroceso se obtiene en eV. Sin embargo, las energías fotónicas son a menudo tan elevadas, sobre todo después de una captura neutrónica, que la energía de retroceso resulta mayor que la energía del enlace químico. Hasta hace pocos años los efectos químicos de la captura radiativa de neutrones térmicos, o efecto Szilard-Chalmers [4], se relacionaban únicamente con este retroceso mecánico, aunque no se había efectuado ninguna observación directa del mismo. En 1951, Magnusson pudo obtener una pequeña separación física directa del producto de captura irradiando una lámina muy delgada de oro con neutrones térmicos [5]. El átomo en retroceso puede alcanzar una energía de traslación de varios eV, correspondiente a la energía media a una temperatura de varias decenas de miles de grados.

2. Los cambios nucleares resultan a menudo en la ionización del átomo en desintegración, lo que significa un segundo procedimiento para efectuar cambios químicos. Si el núcleo en desintegración emite partículas cargadas, la ionización puede producirse por la interacción entre la partícula emergente y los electrones orbitales del átomo en desintegración. La probabilidad de que se produzca una ionización de este tipo es bastante elevada en el caso de partículas pesadas, tales como las partículas α. La emisión de fotones se produce, por lo general, sin gran probabilidad de ionización, a menos que tenga lugar una conversión interna. En tales circunstancias existe una interacción directa entre las fuerzas nucleares y los electrones orbitales, resultando la ionización sin intermedio del fotón. El electrón es expulsado con una energía cinética igual a la del fotón alternativo, menos la energía de ligadura inicial del electrón.

La conversión interna resulta favorecida por una baja energía de desintegración, una marcada diferencia de los impulsos angulares de los núcleos inicial y final, y un alto número atómico. La ionización inicial que sigue a la conversión interna se produce, por lo general, en las capas K o L del átomo, pero el lugar vacante se llena muy pronto, creándose otros muchos vacíos en las capas de valencia por la multiplicación de Auger [6]; esta ulterior ionización conduce a la descomposición, bien inmediata o bien cuando se produce la neutralización. Las descomposiciones químicas

iniciadas por las transformaciones entre isómeros nucleares se deben generalmente a dicho efecto. La conversión interna produce asimismo un retroceso mecánico mayor que en el caso de la emisión fotónica debido a que el electrón tiene una masa definida. Siendo E la energía de desintegración y e la energía de ligadura orbital del electrón emitido, la energía de retroceso será $(E-e)m/M$, donde m es la masa del electrón y M la del átomo de retroceso. Con todo, en un caso por lo menos, la descomposición del telururo etílico resultante de la desintegración del Te^{127*}, dicha descomposición debe ser enteramente efecto de la ionización, ya que el incrementado retroceso no es aún suficiente en comparación con la energía de los enlaces químicos [7].

3. Los cambios nucleares van generalmente acompañados de cierta excitación de los electrones orbitales, lo que a su vez puede producir cambios químicos. Cuando el núcleo resultante difiere del originario en número atómico, es probable que la energía liberada en la reordenación de los electrones orbitales produzca excitación, cuando no ionización. Cuando sólo cambie el número de masa — por ejemplo en el caso de la captura de neutrones radiativos — el cambio de energía será mucho menor y probablemente insuficiente para romper los enlaces químicos.

LA CAPTURA DE NEUTRONES SEGUIDA POR RADIACION

Esta se produce con neutrones de cualquier energía. Sin embargo, la probabilidad de la captura de neutrones de más de 100 keV es, por lo general, bastante pequeña, y la mayoría de los datos sobre el efecto Szilard-Chalmers se refieren a la captura de neutrones de resonancia y térmicos. Es muy difícil separar experimentalmente los efectos en esas dos regiones, habiéndose obtenido la mayoría de los datos gracias a una mezcla arbitraria de captura por ambos procesos; sin embargo, es posible prever teóricamente cierta distinción. La captura de neutrones térmicos no puede producir un retroceso apreciable, ni hay ninguna otra circunstancia que pudiera conducir a un cambio químico en la molécula que contiene el núcleo activado. Por el contrario, el fenómeno inicial de la captura de resonancia (particularmente en una elevada banda de resonancia situada, por ejemplo, a unos centenares de eV) puede producir un retroceso con la suficiente energía para romper los enlaces químicos. Por añadidura, el espectro de la radiación puede ser distinto en los dos casos.

En numerosos casos, las moléculas no quedan alteradas por el fenómeno inicial, y la descomposición resulta únicamente de la subsiguiente emisión fotónica. El núcleo compuesto formado por la captura neutrónica se halla altamente excitado, y la energía de excitación corresponde a la energía de ligadura del neutrón con el núcleo. Muy pronto, este exceso de energía se disipa mediante la sucesiva emisión de fotones, hasta que se alcanza el estado fundamental. El espectro de esta radiación fotónica y la duración de los estados de excitación inicial e intermedio dependen de su respectiva energía e impulso angular. Idénticos factores determinan la probabilidad de la conversión interna de las radiaciones.

Sólo durante los últimos años ha sido posible investigar efectivamente el espectro de la radiación de captura [8]; del mismo modo, la inequívoca detección de la conversión interna de dicha radiación es éxito reciente [9]. La energía de excitación es, por lo general, superior a 5 MeV. La teoría estadística de los niveles de energía nuclear sugiere que la pérdida de esta energía probablemente entraña la sucesiva emisión de 3 o 4 fotones, pudiendo seguirse dos o más caminos de desintegración. Los resultados experimentales publicados hasta la fecha revelan que la pérdida de la totalidad de la energía de excitación en un sólo *quantum* es un suceso de mucha mayor frecuencia en algunos núcleos compuestos que lo que hasta ahora se había supuesto, pero que el camino de desintegración normal involucra la emisión, por lo menos, de dos fotones de elevada energía [10].

EL RETROCESO

Aunque la emisión de un fotón de energía conocida determina el retroceso sufrido por el átomo emisor, las probabilidades que se refieren al espectro y a la emisión no determinan completamente la probable distribución de energía del retroceso resultante. En la mayoría de los casos, el núcleo emisor sufre dos o más retrocesos sucesivos, debiendo conocerse la distribución angular y el modo de combinación de las cantidades de movimiento del retroceso. Las únicas observaciones realizadas de la primera confirman la hipótesis usual de distribución isotrópica independiente. La combinación apropiada de las cantidades de movimiento del retroceso supone la introducción de problemas de orden químico. En el caso de que los sucesivos retrocesos se produzcan con tanta rapidez que la molécula se halle todavía bajo el efecto de uno de ellos cuando se produce

el siguiente, es justificable suponer una combinación vectorial equivalente a retrocesos coincidentes. En el caso opuesto, la vida media de los estados de excitación puede tener la suficiente duración para que se pueda considerar cada retroceso como un suceso independiente.

La energía de retroceso se comunica muy rápidamente del núcleo emisor al átomo total por interacción electrostática. Cuando el átomo forma parte de una molécula, la energía de retroceso se distribuye entre los grados de libertad translatoria, vibratoria y giratoria de la molécula. El tiempo de amortiguamiento para la disipación de la energía de retroceso comunicada a una molécula aislada será por tanto igual al de las vibraciones de enlace. Apenas puede ser menor que 10^{-8} segundos, y aunque poseemos muy pocos datos, podemos anticipar que la duración de los estados de excitación habrá de ser mucho menor, excepto en casos de una baja energía quántica y un marcado cambio de impulso angular. En la mayoría de los casos, la combinación vectorial de retrocesos distribuídos al azar parece ser el más justificado método de cálculo del retroceso resultante.

No toda la resultante energía de retroceso se halla disponible para la rotura de los enlaces. Puede demostrarse que en el caso de la molécula simétrica con relación a un centro, la fracción de la energía que conduce a la excitación vibracional está expresada por $m/(M + m)$, donde M es la masa del átomo de retroceso y m la de los átomos a él enlazados [11]. Aunque no hay datos suficientes para un cálculo exacto, parece probable que menos del 5% de las moléculas activadas reciben insuficiente energía para romper un enlace químico simple. Sin embargo, cuando el átomo activado se halla enlazado en la molécula por dos o más enlaces, existe una probabilidad substancial de que se formen productos que conserven uno o más de los enlaces originales. En tales casos, el estudio de la distribución de dichos productos sirve de método experimental para investigar la distribución de la energía de retroceso [12].

Los espectros de las radiaciones emitidas como consecuencia de la captura de neutrones térmicos y de neutrones de resonancia serán, por lo general, diferentes; de modo que ambos procesos pueden conducir a diferentes distribuciones del retroceso, como sucede con la captura de diferentes isótopos de un mismo elemento. En tanto que los efectos químicos dependan de la magnitud del retroceso, se observarán diferencias en el comportamiento químico.

LA CONVERSION INTERNA

La emisión fotónica no conduce a la ionización del átomo en desintegración, ni el retroceso resultante es tan grande que pueda producirse la ionización por colisión. Sin embargo, se ha observado la formación de átomos de cromo radiactivos, cargados eléctricamente, durante la irradiación de bromuro de metilo con neutrones térmicos [13]; son probablemente resultado de la conversión interna de quanta de baja energía en la radiación de captura. El papel que desempeñan dichos iones en el proceso de Szilard-Chalmers está aún por estudiar. Las diferencias de conversión interna que revelan los espectros de las radiaciones de captura pudieran asimismo producir diferencias en los efectos químicos que resultan de la activación de dos isótopos de un elemento en un mismo compuesto. Es de notar que el mecanismo de conversión, a diferencia del de retroceso, es esencialmente un proceso oxidativo y puede por tanto ser la causa de los pocos casos en que la captura neutrónica produce oxidación, por ejemplo: la formación de perrenato que se observa después de haber irradiado el cloruro de renio trivalente [14].

RETARDAMIENTO DEL ATOMO EN RETROCESO

Como en casi todos los casos la captura neutrónica debe romper cuando menos uno de los enlaces en que participa el átomo excitado, es curioso observar que, tras la irradiación, se obtiene siempre una proporción notable de los átomos activos combinados en forma de moléculas del compuesto original. Esta fracción se denomina «fracción de retención». La mayoría de dichas moléculas activas se han re-formado durante el proceso de retardamiento.

Mientras que la energía media que se transfiere en cada colisión es grande comparada con la energía de enlace, la pérdida de energía del átomo de retroceso se produce mediante colisiones aproximadamente elásticas con los átomos expuestos en la superficie de las moléculas que lo rodean dentro del sistema. Su curso queda determinado por la masa y las concentraciones de dichos átomos. A niveles de energía bajos son probables las colisiones inelásticas con las moléculas vecinas. Finalmente, el átomo puede alcanzar un equilibrio térmico con las moléculas que le rodean. Después de una colisión, el átomo puede reaccionar con tales moléculas, o con los radicales, o con otros productos formados en las colisiones precedentes. Sin embargo, las colisiones

entre un átomo rápido y una molécula inactiva sólo pueden causar reacción si el átomo y el radical formado en la colisión quedan con una energía insuficiente para escapar de las cercanías de la colisión. La magnitud de esta energía crítica dependerá de las propiedades de dispersión de las moléculas circundantes, dado que la malla formada en la fase líquida es mucho más resistente que en la gaseosa. La incidencia de tales reacciones dependerá por tanto de la pérdida de energía media del átomo de retroceso en cada colisión, que está determinada por la razón de las masas de los átomos de retroceso a las de los demás átomos del sistema irradiado, y de las propiedades de dispersión del sistema.

A veces se conoce el comportamiento químico del átomo térmico (por ejemplo, mediante observaciones fotoquímicas); en todo caso es posible distinguir las reacciones que se producen en la región de energía térmica y en la de energía más elevada llevando a cabo irradiaciones a diferentes temperaturas. El número de átomos con una energía mayor que la térmica está determinado por el número de desintegraciones y por las características del retardamiento, de modo que las reacciones son casi independientes de la temperatura. Las reacciones térmicas se aceleran aumentando la temperatura, y como la distribución de los átomos activos en los productos está determinada por la velocidad de las reacciones competitivas en que pueden intervenir los átomos, el rendimiento de los productos térmicos se incrementa mediante el aumento de la temperatura de irradiación.

Entre las reacciones en que intervienen los átomos de retroceso se encuentra la re-formación de las moléculas originales. Si los átomos térmicamente equilibrados, o uno de sus productos de reacción, pueden intercambiarse con las moléculas inactivas, entonces o bien será completa la retención, o bien aumentará en razón directa con el tiempo que transcurra entre el final de la irradiación y el análisis del sistema. Alternativamente, el intercambio se puede producir por medio de una reacción a alta energía, en cuyo caso la retención será independiente de la temperatura.

Los experimentos que más datos nos podrían ofrecer sobre estos procesos son los efectuados con gases, y en especial con aquellos cuyas moléculas sujetan al átomo activado por un solo enlace químico; sin embargo, hasta el presente sólo se han realizado contadas investigaciones de este tipo. Debe suponerse en estos casos una baja retención en la fase gaseosa, ya que no es probable que el átomo colidente permanezca en la vecindad del radical por él creado.

La mayor parte de los datos cuantitativos publicados se refiere a los sistemas líquidos: en éstos se observa una retención mucho más elevada. Sobre la base de los primeros resultados de este tipo, Libby estableció el análisis del proceso de retardamiento que acabamos de resumir [15].

LOS EFECTOS EN LOS HALUROS ORGANICOS

El descubrimiento del efecto de Szilard-Chalmers se produjo como consecuencia de la irradiación del yoduro de etilo. Se observó que una proporción considerable del yodo radiactivo se podía separar en forma de ion yoduro. Unos años más tarde, usando el yoduro de metilo, se descubrió que la actividad residual de la fase orgánica tomaba principalmente la forma de yoduro de metilo, pero que también se había formado una cantidad apreciable de yoduro de metileno [16]. La teoría de las colisiones elásticas explica suficientemente las proporciones respectivas de dichos productos. Hay una mayor probabilidad de que las colisiones con otros átomos de yodo reduzcan la energía del átomo de retroceso hasta un valor que permita su combinación con el radical creado, que no las colisiones con los átomos de hidrógeno, mucho más numerosos, pero también más livianos.

Otros experimentos semejantes con bromuro de propilo y de *iso*propilo han suministrado pruebas de que el haluro orgánico radiactivo se re-forma totalmente durante el período de retardamiento, y que se puede producir una considerable activación del radical orgánico. La actividad retenida tras la irradiación de cualquiera de esos bromuros surge como bromuro de propilo y de *iso*propilo en idéntica proporción aproximadamente. En este caso parecería que el radical producido por la colisión adquiere suficiente energía para que se haga probable la isomerización, aunque no la bastante para permitirle escapar de la vecindad del átomo de bromo activo [17].

Dodson y sus colegas del laboratorio de Brookhaven han llevado a cabo una investigación de mayor envergadura sobre la aplicabilidad de la teoría de las colisiones elásticas para los procesos de retardamiento [18], estudiándose la distribución de la actividad como función de la composición del sistema irradiado en una serie de mezclas de tetracloruro de carbono con tetracloruro de silicio, benceno y ciclohexano. Se determinaron por separado la retención como CCl_4, el rendimiento de cloruro orgánico y el cloruro inorgánico,

hallándose que la primera quedaba reducida rápidamente mediante la adición de pequeñas cantidades de los hidrocarburos, pero que disminuía luego mucho más lentamente al aumentar la fracción molar de éstos. Por otra parte, el rendimiento del hidrocarburo cloruro-substituído se elevaba rápidamente hasta un valor que resultaba independiente de la fracción molar del hidrocarburo. Esos resultados sólo son compatibles con la teoría del proceso de retardamiento antes expuesta si aceptamos que la reacción de substitución del hidrógeno se produce en una región de energía muy por encima de aquélla en que es posible la substitución del cloruro.

Hay otras observaciones que son difíciles de reconciliar con la simple teoría de las colisiones elásticas. Se ha hallado que las irradiaciones de yoduro o yoduro de etilo en hexano y otros hidrocarburos rinden considerables cantidades de productos de substitución, hasta tal punto que se ha sugerido el uso de este proceso para aplicaciones preparatorias. Ahora bien, un átomo de yodo sólo puede transferir un 3% de su energía a un átomo de hidrógeno en un choque de lleno; por lo tanto, si de este modo consigue romper un enlace carbono-hidrógeno debe de conservar aún considerable energía, la suficiente, debiera suponerse, para escapar de las cercanías del radical producido, de donde resultaría que la substitución por el yodo debiera ser un fenómeno bastante infrecuente [19]. Es más, los experimentos realizados con compuestos tales como el CCl_3Br rinden una fracción apreciable de bromo activo en compuestos de peso molecular más elevado que CCl_2Br_2 [19].

REACCIONES DE RETROCESO EN EL ESTADO SOLIDO

La irradiación de las substancias sólidas va acompañada de algunos de los fenómenos más interesantes e inesperados, ofreciéndonos buenos ejemplos los experimentos con permanganatos y cromatos. Estos oxi-aniones se desintegran mediante el retroceso, y el manganeso o cromo radiactivos se distribuyen entre el anión original y un derivado del elemento de inferior estado de valencia. El manganeso separable puede extraerse tras la disolución de los cristales irradiados con el bióxido de manganeso; el cromo se extrae en forma de ion crómico hidratado. El átomo o radical de retroceso debe hallar finalmente ubicación en alguna posición intersticial o en algún defecto de la red, donde quedará relativamente inmóvil. La identidad química de este átomo, radical o ion es por lo general desconocida, sin que exista en la actualidad ningún método de identificación. Sólo es posible examinar la distribución de actividad después de haber disuelto los cristales irradiados, pero existen datos que parecen apoyar la hipótesis de que ciertos iones o radicales desconocidos en solución pueden quedar inmovilizados en la red cristalina después del retroceso.

La existencia de especies tan desusadas puede inferirse de los experimentos de Libby [20] con permanganato potásico, en los cuales se probó que la retención era una función del *p*H de la disolución en que se habían disuelto los cristales irradiados. La entidad de red estabilizada que contiene el manganeso radiactivo reacciona con el agua en forma tal que la proporción de iones de permanganato re-formados depende del *p*H. Libby ha sugerido que el ion reactivo es un derivado del manganeso heptavalente que contiene menos oxígeno que el ion permanganato, por ejemplo: MnO_3^+ o MnO_2^{+++}. Al disolverse, este ion o bien puede resultar reducido por el agua a bióxido de manganeso tetravalente, o bien combinado con los iones oxhidrilo para re-formar los iones permanganato. Esta hipótesis suministra una explicación cualitativa del aumento en la retención observada al producirse la disolución en líquidos de creciente *p*H, pero es difícil ajustar a este mecanismo el análisis cuantitativo de los datos obtenidos.

Naturalmente, la retención es a menudo elevada en los sistemas sólidos, lo cual puede atribuirse a seis causas. La primera de ellas, la ineficacia del fenómeno nuclear para producir la ruptura molecular, puede descontarse por razones ya expresadas. En el estado sólido, la disociación de una molécula puede ir rápidamente seguida por la recombinación de los fragmentos si éstos se encuentran próximos entre sí. Esto puede explicar parte de la retención. Suponiendo sin embargo que el átomo o el radical de retroceso escapen de las proximidades del lugar reticular en el que se produce la captura, entonces, tras cierta disipación de energía causada por las colisiones disociativas, puede disociar otro ion molecular y reformar un ion semejante inmediatamente después, con la incorporación del átomo o grupo activo. Estos dos últimos efectos son esencialmente similares, distinguiéndose sólo en la especial relación del ion radiactivo y el lugar reticular en que se ha producido la captura.

Otros modos de re-formación del ion molecular original se producen independientemente del proceso de retardamiento. Se ha encontrado que la especie desconocida que existe en la red puede

re-formar el ion molecular original mediante muy ligero calentamiento o radiación ionizante [22]. Al mismo tiempo, el efecto de ésta sobre los iones inactivos puede conducir a la descomposición macroscópica. Como la mayoría de las irradiaciones neutrónicas van inevitablemente acompañadas de irradiación γ, ambos efectos contribuirán por lo general a la retención.

El valor del incremento de la retención producida al aplicar calor es una función de la temperatura. El proceso no exhibe una sola energía de activación, pero se comporta como si hubiera varias involucradas. Tanto los incrementos en retención de origen térmico como los inducidos por la radiación pueden explicarse o bien mediante un mecanismo iónico o bien mediante un mecanismo electrónico. En el primer caso, la recombinación térmica corresponde o bien a la reacción de los fragmentos que se difunden a suficiente proximidad, o bien a la reacción de los fragmentos con iones inactivos adyacentes. En ambos casos sería lógico hallar involucradas diversas energías de activación, cuyo número dependería de la naturaleza y posición de los fragmentos. El cromato potásico es notablemente resistente a la descomposición por radiación, de modo que aunque debe producirse con frecuencia la disociación del ion cromato, también se produce generalmente la recombinación. Sin embargo, cuando la disociación se produce en las cercanías de un fragmento en retroceso, la recombinación puede incorporar el átomo de cromo activo. Así, la radiación ionizante puede aumentar la retención re-formando los iones cromato radiactivos mientras tiene lugar la reducción macroscópica. Por otra parte, es igualmente posible atribuir ambos efectos a las transiciones electrónicas [22].

Era de esperar que los dos factores que contribuyen a la retención y que dependen de la dispersión de los fragmentos en retroceso variasen con la estructura y los parámetros de colisión del cristal irradiado y, en realidad, la magnitud de esta variación resulta mucho mayor de lo que pudiera esperarse. Comparando las retenciones de los permanganatos anhidros isomorfos $KMnO_4$, $NaMnO_4$ y $LiMnO_4$ en condiciones tales que los otros cuatro factores que contribuyen a la retención permanezcan constantes, se ha comprobado que este factor puede producir una diferencia de retención de casi un 20% [21]. Tal dependencia estructural implica que la retención en los sólidos puede depender estrechamente de la energía media de retroceso, habiéndose revelado tales variaciones en experimentos recientes. Las retenciones de dos isótopos radiactivos diferentes generados por la captura neutrónica radiativa en una irradiación única de un sólido resultaron ser diferentes [23]. Lo que es aún más importante es que la comparación de la retención que resulta de las reacciones (n,γ) y (γ,n) muestra que el mayor retroceso que sigue a la última conduce a una más elevada retención en el cristal [24].

BIBLIOGRAFIA

[1] BROOKS, H. *Nature, Lond.*, **70**, 270, 1904.
WERTENSTEIN, L. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **152**, 1657, 1911.
[2] LAWSON, R. W. *Nature, Lond.*, **114**, 121, 1924.
[3] HAHN, O. y MEITNER, L. *Phys. Z.*, **10**, 697, 1909.
RUSS, S. y MAKOWER, W. *Proc. roy. Soc.* A, **82**, 205, 1909.
[4] SZILARD, L. y CHALMERS, T. A. *Nature, Lond.*, **134**, 462, 494, 1934.
[5] MAGNUSSON, L. B. *Phys. Rev.*, **81**, 285, 1951.
[6] COOPER, E. P. *Ibid.*, **61**, 1, 1942.
[7] SEABORG, G. T., FRIEDLANDER, G., y KENNEDY, J. W. *J. Amer. Chem. Soc.*, **62**, 1309, 1940.
[8] KINSEY, B. B., BARTHOLOMEW, G. A., y WALKER, W. H. *Phys. Rev.*, **77**, 723; **78**, 77, 481, 1950.
WILSON, R. *Ibid.*, **80**, 90, 1950.
[9] HIBDON, C. T. y MUEHLHAUSE, C. O. *Bull. Amer. phys. Soc.*, **26**, 44, 1951.
[10] MUEHLHAUSE, C. O. *Phys. Rev.*, **79**, 277, 1950.
[11] STEINWEDEL, H. y JENSEN, J. H. D. *Z. Naturf.*, **2A**, 125, 1947.
[12] MADDOCK, A. G. y SUTIN, N. *Research*, **6**, 75, 1953.
[13] WEXLER, S. y DAVIES, T. H. *J. chem. Phys.*, **18**, 376, 1950.
[14] HERR, W. *Z. Naturf.*, **7B**, 55, 1952.
[15] LIBBY, W. F. *J. Amer. chem. Soc.*, **69**, 2523, 1947.
[16] GLUECKAUF, E. y FAY, J. W. J. *J. chem. Soc.*, 390, 1936.
[17] FRIEDMAN, L. y LIBBY, W. F. *J. chem. Phys.*, **17**, 647, 1949.
[18] MILLER, J. M. y DODSON, R. W. Brookhaven Natl. Lab. Conf. Chem. Effects of Nuclear Transformations. A.E.C.U., 50, 1948.
[19] GOLDHABER, S., CHIANG, R. S. H., y WILLARD, J. E. *J. Amer. chem. Soc.*, **73**, 2271, 1951.
[20] LIBBY, W. F. *Ibid.*, **62**, 1930, 1940.
[21] MCCALLUM, K. J. y MADDOCK, A. G. *Trans. Faraday Soc.* En prensa.
[22] GREEN, J. H. y MADDOCK, A. G. *Nature, Lond.*, **164**, 788, 1949.
GREEN, J. H., HARBOTTLE, G., y MADDOCK, A. G. Trabajo inédito.
[23] CROATTO, U., GIACOMELLO, G., y MADDOCK, A. G. *Ric. sci.*, **22**, 265, 1952.
[24] HOLMES, O. C. y MCCALLUM, K. J. *J. Amer. chem. Soc.*, **72**, 5319, 1950.

Reacciones de los animales a las variaciones de temperatura

WILMA GEORGE

Estudio de los efectos directos e indirectos de la temperatura sobre los organismos vivos; su influencia sobre la rapidez generacional, la incidencia de mutaciones y la divergencia genética de una especie. Fenómenos de adaptación metabólica a la temperatura. La coloración y otros carácteres anatómicos como factores de protección térmica. Estudio de las variaciones de coloración en los coccinélidos y de la posible influencia térmica sobre la expresión de los genes. Experimentos con *Gammarus chevreuxi* y *Drosophila melanogaster*. Influencia de la temperatura sobre el poliploidismo.

Los procesos químicos de los organismos vivos varían con la temperatura de su medio ambiente, retardándose con el frío y acelerándose con el calor, aunque no siguen necesariamente las leyes normales en lo que se refiere a sus coeficientes de temperatura. Los límites dentro de los cuales puede existir la vida animal son bastante amplios; la muerte de los animales adultos normales se produce al aproximarse a los 50° C; el punto de muerte a bajas temperaturas no parece conocerse muy exactamente, pero se halla considerablemente por debajo de 0° C. Hasta que se alcanza la temperatura crítica, el efecto de la congelación es retardar hasta un mínimo los procesos vitales; de este modo, las bajas temperaturas son muy útiles para la conservación de los tejidos vivos.

El efecto de las temperaturas extremas sobre los organismos individuales no es por necesidad el mismo que el que producen dichas temperaturas en la especie, considerada como un conjunto. Si el frío es severo, su efecto sobre un organismo que habita normalmente en las regiones templadas es retardar los procesos metabólicos hasta tal punto que se imposibilita la reproducción, y la especie perece en tales condiciones. Por el contrario, si un organismo de un clima frío se somete a un calor considerable y sobrevive a tal cambio, puede estimularse su reproducción y quedar establecida la especie en un ambiente nuevo.

Como, en igualdad de otras circunstancias, el período entre sucesivas generaciones de una especie se acorta en áreas de altas temperaturas, es de suponer que en dichas regiones aumenta proporcionalmente la velocidad de divergencia genética. Así, en los vertebrados terrestres se ha observado una razón directa entre la temperatura media y el número de especies en el tipo. Rahn [5] ha contado 335 especies de reptiles en las regiones templadas y 2785 en los trópicos; cifras semejantes se encuentran en los mamíferos: 948 y 2076 respectivamente. Se pudiera decir que esta diversidad depende principalmente de la mayor abundancia de vegetación en las regiones tropicales, pero los datos que nos suministra la biología marina contradicen esa objeción. La vida marina es muy abundante en las regiones más frías debido a la mayor concentración y disponibilidad de compuestos nitrogenados en comparación con las aguas más templadas. Las diatomeas se benefician directamente y a su vez alimentan, directa o indirectamente, a poblaciones muy numerosas de animales hervívoros y carnívoros. A pesar de esta abundancia de alimento, el número de especies animales es reducido en comparación con la fauna de las aguas tropicales. El 80% de unas 300 especies de copépodos viven en aguas templadas, en comparación con sólo un 5% que existen en aguas frías septentrionales.

La adaptación a la vida a diferentes temperaturas plantea en el caso de los animales de sangre fría problemas distintos de los de los animales de sangre caliente; para éstos, el problema es mantener una temperatura interna constante, mientras que en los primeros, todos los procesos vitales deben adaptarse a la temperatura del medio ambiente. Muy pocas especies vertebradas de sangre fría se extienden desde el Artico a los trópicos; hay sin embargo muchas que existen en regiones muy extendidas dentro de esos límites. Las adaptaciones a bajas temperaturas en distintas especies de la rana incluyen un aumento de la resistencia del embrión al frío y un incremento en la velocidad del desarrollo y en la metabólica para compensar el efecto retardatorio de las bajas temperaturas [4]. Aun se conoce muy poco sobre las adaptaciones fisiológicas de los invertebrados

en las regiones árticas, pero es de presumir que habrán de ser semejantes a las de la rana. La notable fauna de insectos y lombrices de tierra que existe en las regiones nevadas del ártico presenta como característica más evidente la uniformidad de color. Casi todos los animales de sangre fría son negros o de color muy oscuro, lo que puede representar una ventaja al permitirles absorber todo el calor que les presta el sol. Pero no conocemos si poseen algun proceso fisiológico o mecánico que les permita impedir la rápida pérdida de calor, también favorecida por la coloración oscura. Por otra parte, los animales de sangre caliente de dichas regiones tienden a ser blancos, por lo menos en invierno, lo cual puede considerarse como una adaptación para impedir la pérdida de calor, pero es probable que tenga primordialmente una función de camuflaje. Otras medidas generales para conservar el calor son el aumento del espesor del pelaje en los mamíferos y del plumón en las aves, la formación de gruesas capas de grasa como aislador térmico, a diferencia de su función nutritiva, en las ballenas y focas. La mayor complejidad de los capilares sanguíneos superficiales, con la consiguiente extensión de la superficie de refrigeración, se observa muy a menudo en los animales de las regiones muy calurosas. Los hábitos también se adaptan a esta necesidad de conservar el calor en las regiones árticas y de mantenerse fresco en las tropicales. Muchos animales tropicales pasan la mayor parte de su vida en la sombra, algunos son nocturnos, y las formas que viven en los desiertos son casi enteramente nocturnas, a diferencia del diurnismo de los animales árticos.

Si bien ciertas especies se hallan en casi todas las regiones del globo, desde las polares hasta las más calurosas, en otras varían considerablemente los límites de su extensión. Unas presentan una amplia tolerancia de temperatura, hallándose sus miembros muy esparcidos geográficamente. El cuervo (*Corvus corax*) se extiende desde Groenlandia hasta el Sahara; el puma (*Felis concolor*), desde la Patagonia al Canadá; el sapo común (*Bufo vulgaris*), desde Noruega a Marruecos. Otras especies se hallan restringidas a regiones que tienen una determinada escala de temperatura: los corales crecen únicamente en aguas templadas de una temperatura de unos 23° C, y el crustáceo *Thermosbaena mirabilis* (Fig. 1) vive sólo en ciertos manantiales calientes, a unos 48° C.

En las especies que existen dentro de amplios límites de latitud se han podido observar ciertas adaptaciones generales a las regiones más calurosas y más frías dentro del ámbito de su distribución; esta evolución paralela como respuesta a idénticas condiciones ambientales parece ajustarse a ciertas reglas de aplicación más o menos general [6]. Naturalmente, no es siempre fácil distinguir entre las adaptaciones directas a la temperatura y las adaptaciones a condiciones que, a su vez, dependen de la temperatura. Tenemos un buen ejemplo en la correlación entre la temperatura del agua y el tamaño de las excrecencias de los invertebrados planctónicos: estos animalículos han desarrollado espinas, flotadores y otras excrecencias para aumentar su resistencia friccional al agua y contrarrestar así en lo posible el efecto de la gravedad (Fig. 4). En los mares fríos, estas expansiones corporales son mucho menos acentuadas, al parecer se trata de adaptaciones a la densidad del agua, que, a su vez, depende de la temperatura.

La variación del tamaño corporal en una misma especie de vertebrados de sangre caliente de amplia distribución geográfica parece ser una adaptación directa a la temperatura de su habitat. La regla de Bergmann establece que en los vertebrados de sangre caliente el tamaño del cuerpo se halla en relación inversa a la temperatura. Al aumentar el tamaño, el área superficial de un cuerpo, que es proporcional al cuadrado de sus dimensiones, crece relativamente menos que el volumen, que es proporcional al cubo. Así, cuanto mayor sea el cuerpo, menor es la superficie de radiación térmica y mayor el volumen disponible para los procesos metabólicos. Un mamífero pequeño, como el ratón, se halla en constante peligro de enfriarse demasiado; para compensar la gran superficie de radiación con relación al volumen, el ratón tiene que consumir una cantidad de alimento diario mucho mayor que su propio peso. La cacatúa (*Cacatua galerita triton*) del archipiélago malayo presenta interesantes variaciones de tamaño. Entre las que pueblan las pequeñas islas llanas de los mares tropicales, una gran proporción son ejemplares pequeños, mientras que las que viven en las islas mayores o en las montañas son, por lo general, grandes [3]. Del mismo modo, el cuervo presenta ligeras diferencias de tamaño, hallándose los ejemplares más grandes en Groenlandia.

La segunda regla, que también se aplica a los vertebrados de sangre caliente, es la de Allen: las protuberancias corporales son más cortas en los individuos de las regiones frías que en los de la misma especie que pueblan las regiones más cálidas. Esta es, al parecer, también una

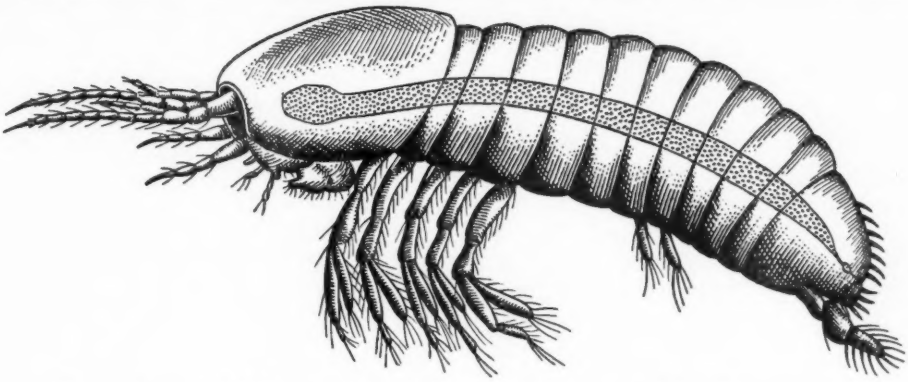


FIGURA 1 – Thermosbaena mirabilis, *que vive exclusivamente en ciertos manantiales africanos con una temperatura de unos* 48° C. (× 36)

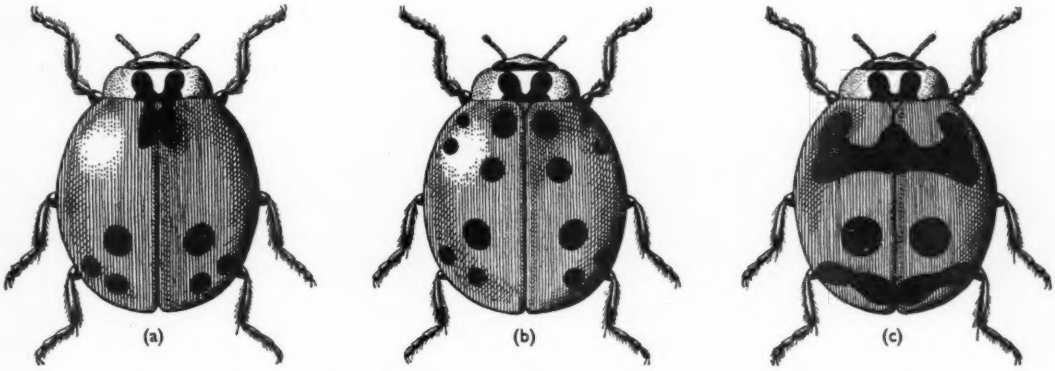


FIGURA 2 – Adonia variegata (a) *de color ligero,* (b) *típico, y* (c) *oscuro.* (× 8)

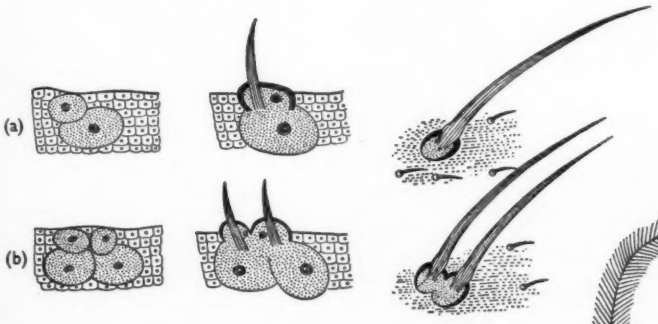


FIGURA 3 – *Desarrollo de los pelos torácicos de* Drosophila melanogaster, (a) *en una mosca silvestre,* (b) *en una mosca mutante* («*split*»).

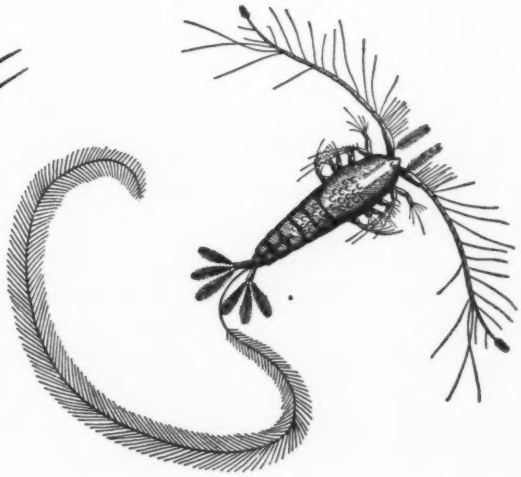


FIGURA 4 (a la derecha) – Calocalanus plumulosus *de la región mediterránea, en el que se observan las excrecencias características de las formas de aguas templadas.* (× c. 15)

adaptación destinada a impedir la excesiva pérdida de calor. Por ejemplo, los cuervos de las regiones septentrionales tienen picos más cortos que los de los desiertos calurosos.

Finalmente, la regla de Gloger establece que en las partes más templadas y húmedas de una región habitada por una especie, los individuos de ésta contienen más melanina. Las melaninas rojizas predominan en las regiones áridas, las negruzcas disminuyen; en regiones muy frías, también quedan reducidas las melaninas negras. Así, de los trópicos al ártico, los individuos de una misma especie parecen variar de una coloración amarillenta o rojiza, pasando por el negro, hasta una coloración blanca. Se ha comprobado que esta regla es aplicable a diversas especies de aves y grupos de insectos. Dobzhansky ha hallado [1] que los diseños coloreados de los élitros de *Adonia variegata* varían según la temperatura normal de su habitat; así las variedades pálidas, de color rojo o amarillo y sin o con muy pocos puntos negros predominan en dos centros, los calurosos y áridos desiertos del Turkestán y de Persia y las igualmente cálidas regiones de California, Arizona y México. Al alejarnos de dichos centros y decrecer la temperatura, los ejemplares punteados de negro son más comunes, y es mayor el número de motas en los mismos. En Persia, las poblaciones de *Adonia variegata* contienen un 8% de animales con el diseño típico de los élitros (Fig. 2*b*) y un 1% de color más oscuro, y el resto de la población se compone de formas con pocas motitas negras (Fig. 2*a*). En Siberia las poblaciones son muy diferentes, sin encontrarse en ellas animales de colores ligeros y presentando sólo el 18% la forma típica; el resto tienen motas oscuras confluyentes (Fig. 2*c*). Los diseños de color son heredados y al parecer dependen sólo de muy pocos genes.

Las relativas ventajas del color ligero o acusado del cuerpo en los climas cálidos dependen grandemente de los hábitos del animal y de que tengan sangre caliente o fría. Los animales que viven la mayor parte del tiempo al aire libre y al sol pueden aprovecharse de todo el calor disponible en las regiones más frías de su extensión geográfica si, como los *Adonia*, tienen colores oscuros. Por el contrario, los animales que viven en la sombra son, naturalmente, oscuros en las regiones más calientes pues así pueden perder con relativa rapidez el exceso de calor. Como muy a menudo sucede en biología, es imposible establecer cuál sea la causa y cuál el efecto. Entre los *Adonia* también se producen cambios estacionales en la proporción de formas de color ligero y fuerte dentro de una misma población, lo cual puede asimismo ser una adaptación a cambios de temperatura o de hábitos. Aun no está muy claro que la temperatura tenga siempre un efecto directo sobre la expresión de los genes que regulan el color; sin embargo, en el caso del camarón de agua dulce, *Gammarus chevreuxi*, Ford y Huxley [2] han podido mostrar que el ojo negro normal y el ojo rojo menos acostumbrado dependen de un par alelomórfico de genes en el que el del ojo negro es el dominante. Si se crían a elevada temperatura, unos 28° C, formas que tienen genes del ojo rojo, al cabo de 20 días los ojos cambian a negro; a 13° C sólo se deposita una cantidad mínima de melanina y los ojos continúan rojos. Por el contrario, las crías con genes del ojo negro cultivadas a 10° C salen con ojos rojos, que se oscurecen luego lentamente. Parece por tanto que el efecto del gene del ojo negro es semejante al de una temperatura relativamente alta: ambos parecen aumentar la velocidad de una determinada reacción química.

La expresión de ciertos genes puede pues alterarse por medio de la temperatura, y en algunos casos la respuesta del genotipo al medio ambiente es, al parecer, adaptativa: el crecimiento del pelo puede estimularse en los mamíferos mediante bajas temperaturas, y un ambiente frío y húmedo durante la existencia pupal puede producir el oscurecimiento de los élitros de *Adonia*. Las características definidas que observamos en las poblaciones en su estado natural se hallan, sin embargo, bajo el control directo de los genes y pueden manifestarse sin el estímulo de la temperatura externa. El genotipo normal es el que últimamente produce la mayor adaptación fenotípica en las circunstancias dadas.

Se conocen experimentalmente otros efectos directos de la temperatura sobre la expresión de los genes. Si las pupas o larvas de insectos se someten durante un breve período a temperaturas superiores o inferiores a su escala normal, los animales muestran con frecuencia desviaciones con respecto al fenotipo normal. Por ejemplo, en el desarrollo de la pupa de *Drosophila melanogaster* hay una fase en la que ciertas células destinadas a formar unas cerdas torácicas se dividen de tal forma que surge una célula que habrá de ser el «asta» y otra que será la «cajera». Se conoce una forma mutante («split») en la que la célula pilígena se divide dos veces y produce por tanto dos astas y dos cajeras, cuando normalmente no existe más que una de cada (Fig. 3). Si se administra un *shock* de temperatura de 40° C de

una hora de duración durante el último período de vida larval o el primero de vida pupal, se produce en un número considerable de casos la duplicación pilífera; parece como si un gene mutante o un factor externo no específico pudieran desviar el desarrollo en una u otra dirección allí donde existen dos alternativas. Los cambios así producidos afectan sólo al fenotipo y no son hereditarios. Es dudoso que sean significativos en el proceso general de la evolución animal, aunque Waddington [8] ha sugerido que una reacción ambiental de este tipo puede finalmente ser asimilada por un gene. El ambiente puede de tal modo facilitar una ruta determinada que cuando se produjese la mutación ésta resultase ventajosa inmediatamente. Por otra parte, esos fenómenos pueden ser más bien un signo de la susceptibilidad general del organismo a los cambios de temperatura. Los organismos bien establecidos, cuyos habitats naturales gozan temperaturas bastante uniformes, debieran lógicamente registrar una más fácil perturbación de su desarrollo a causa de un cambio súbito y extremo de temperatura que los organismos que comúnmente pueblan regiones de temperatura muy variable. La *Drosophila funebris* presenta razas geográficamente diferenciadas en lo que se refiere a la resistencia a la temperatura. Las razas del oeste de Europa son muy susceptibles a los extremos de frío y calor, mientras que las de Rusia son mucho más resistentes [7].

Se sabe que los extremos de temperatura producen una pequeña proporción de organismos poliploides. Por ejemplo, las bajas temperaturas (1,5–6° C) causan poliploidismo en la lagartija acuática americana *Triturus viridescens*. Los triploides resultantes son casi con toda certeza un callejón evolucionario sin salida. En las plantas, por otra parte, se ha demostrado que el poliploidismo tiene una influencia considerable, estableciéndose que las especies poliploides muestran en general una mayor resistencia al frío que sus parientes diploides; hay muchos autotetraploides en las regiones septentrionales y alpinas: casi todas las hierbas de Spitsberg son poliploides. No sugerimos con eso que el poliploidismo sea necesariamente una reacción ambiental, sino más bien que se produjo al irse enfriando el clima durante la época glacial y que las plantas poliploides pudieron establecerse gracias a sus facultades de resistencia. La influencia del poliploidismo en la evolución de los animales hermafroditas es un problema aún no resuelto.

Finalmente, la temperatura influye sobre la incidencia de las mutaciones de genes, hallándose en relación directa la alta incidencia mutacional y la elevada temperatura. Es probable que ello sea resultado general del incremento en la velocidad de las reacciones químicas, ya que un aumento de 10° C triplica aproximadamente la incidencia de mutaciones. Por lo tanto, en los países tropicales puede preverse una incidencia mutacional bastante elevada, a no ser que la selección la haya reducido específicamente.

Las diferencias geográficas de temperatura son una de las causas básicas de la diversidad de formas en los reinos vegetal y animal. La uniformidad de temperatura, tanto geográfica como estacional, hubieran producido una fauna y una flora mucho más uniformes. La temperatura funciona como un poderoso agente de selección en las diversas poblaciones animales, eliminando a los individuos que no pueden sobrevivir y reproducir otros semejantes; también funciona de manera menos directa mediante la expresión fenotípica de algunos genes. Indirectamente, la temperatura selecciona por su efecto sobre la vegetación y por tanto la disponibilidad de alimentos vegetales. En igualdad de circunstancias, las temperaturas elevadas favorecen una más rápida evolución al aumentar el número de generaciones y la incidencia mutacional. La comparación del número de especies existentes en los trópicos y en otras regiones del globo confirma la hipótesis de que la zona tropical es la escena de la más rápida evolución animal.

BIBLIOGRAFIA

[1] Dobzhansky, T. *Amer. Nat.*, **67**, 97, 1933.
[2] Ford, E. B. y Huxley, J. S. *Arch. Entw. Mech. Org.*, **117**, 67, 1929.
[3] Mayr, E. «Systematics and the Origin of Species». Nueva York. 1942.
[4] Moore, J. A. *Biol. Symp.*, **6**, 189, 1942.
[5] Rahn, O. *Amer. Nat.*, **73**, 26, 1939.
[6] Rensch, B. *Arch. Naturgesch.*, **7**, 364, 1938.
[7] Timofeeff-Ressovsky, N. W. *Ibid.*, **4**, 245, 1935.
[8] Waddington, C. H. *Nature, Lond.*, **150**, 563, 1942.

Revista de libros

AGRICULTURA

ORDISH, George: *Untaken Harvest.* 171 págs. Constable and Company Limited, Londres. 1952. 15s.

En esta obra el autor estudia el problema de las pérdidas causadas en las cosechas por enfermedades y pestes. No oculta la falta de datos exactos ni la dificultad de interpretar los existentes desde un punto de vista económico. Sin embargo, después de examinar críticamente los datos de que se dispone, el autor establece cifras de pérdidas que son las más exactas publicadas hasta ahora.

A continuación el libro trata de la relación entre la reducción de pérdidas y el costo de los distintos tratamientos, llegando a la conclusión de que es preciso conseguir datos más exactos sobre la incidencia y daños causados por las pestes e infecciones antes de que se puedan ofrecer consejos útiles sobre el costo económico de un tratamiento. Sin embargo, el autor consigue tabular los datos obtenidos de modo que han de ser de gran utilidad a todo agrónomo y agricultor. A pesar de la imprecisión de dichos datos, el libro aboga elocuentemente por la extensión del presente nivel de tratamiento: no es concebible que sigamos consintiendo una pérdida anual de más de setenta millones de libras en Gran Bretaña.

En otro capítulo muy bien presentado, el autor rebate la doctrina de que las enfermedades y las pestes, al reducir la cosecha, en realidad favorecen económicamente al agricultor.

Este es un libro ameno y al mismo tiempo valioso como obra de referencia, que debiera formar parte de la biblioteca de toda persona interesada en los problemas vitales de la producción del alimento, sean agricultores o ingenieros agrónomos, o simplemente consumidores que no creen que los productos alimenticios surgen de la nada, como los conejos del sombrero de un ilusionista. Y es de esperar que esta obra estimule los trabajos de obtención de datos más exactos sobre dichos problemas.

W. SLATER

BIOGRAFIA

LLOYD, Christopher: *Captain Cook.* 172 págs., con ilustraciones a medio-tono. Faber and Faber Limited, Londres. 1952. 10s. 6d.

Durante los últimos veinte años se ha publicado gran número de biografías del Capitán Cook, y hubiera sido lógico pensar que ya no había lugar para otra. Pero, como indica el autor de ésta, todas ellas están agotadas y es por tanto útil una dirigida a los lectores que saben poco o nada de tal tema. Evidentemente, es imprescindible que tales lectores lleguen a comprender bien los objetivos de cada uno de los tres viajes de Cook y el punto hasta que llegó a realizarlos. En esto, Mr. Lloyd se anota un éxito completo. Y otro tanto en lo que se refiere a la difícil tarea de condensar lo esencial de la vida de Cook en 172 págs., lo que ha conseguido de forma excelente para el tipo de lector a que va dedicado el libro.

Hay algunos errores menores, como por ejemplo en el número de relatos sin autoridad oficial del primer viaje, y la fecha de la muerte del Capitán Gore, pero hay uno de importancia: la resurrección de la afirmación errónea de Kippis, por la que éste se ganó una reprimenda de Joseph Banks, de que América se negó a imitar a Francia en otorgar inmunidad a los barcos de Cook en su tercer viaje.

MAURICE HOLMES

MILNE, E. A.: *Sir James Jeans: A Biography.* XVI + 176 págs. Cambridge University Press, Londres. 1952. 21s.

La importancia de los trabajos de Sir James Jeans en el desarrollo del pensamiento científico de su época es tal que la publicación de su biografía no necesita otra justificación. Interesado primeramente en los problemas de la teoría dinámica de los gases y la partición de la energía, lo que culminó en el importante *Report on Radiation and the Quantum Theory* (1914), que contribuyó grandemente a establecer la teoría quántica y las doctrinas atómicas de Bohr, Jeans dirigió luego su atención a las formas de equilibrio y la estabilidad de las masas flúidas gravitacionales en rotación, problema de enorme complejidad matemática. Estos trabajos le llevaron a la consideración de los problemas cosmogónicos, cuyas investigaciones resumió en su *Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics* (1919) y *Astronomy and Cosmogony* (1928). Milne describe con razón la primera como una obra clásica de la astronomía; la segunda, aunque concebida en una escala mucho más amplia, no está tan conseguida y tiene un valor menos permanente.

A partir de 1928, Jeans abandonó la investigación original y se dedicó a escribir una serie de popularizaciones de astronomía y física y de las consecuencias filosóficas de los modernos desarrollos del pensamiento científico. Mr. S. C. Roberts, de la Cambridge University Press, en una memoria que forma el prefacio de esta biografía, nos relata cómo, a sugerencia suya, Jeans se comprometió a escribir las obras de popularización, y traza un delicioso retrato de la personalidad de éste.

Milne afirma que Jeans no escribió en su vida una página de matemáticas que resultase aburrida. Sus escritos científicos se caracterizan por su estilo atrayente y de gran belleza. Esas cualidades, combinadas con una gran claridad de exposición, exactitud de imagen y amplitud de conocimientos explican el extraordinario éxito de sus obras de popularización. Y entre los triunfos de Jeans no es el menor el haber despertado un gran interés en los problemas fundamentales de la ciencia.

H. SPENCER JONES

BIOLOGIA

VOUK, Vale: *Grundriss zu einer Balneobiologie der Thermen.* 88 págs. Birkhäuser, Basilea. 1950. Frs. Szs. 14,55.

El término «balneobiología» describe los estudios biológicos referentes a los manantiales calientes en relación con su uso terapéutico. Este libro parece ser el primer estudio de este tipo, y aunque no trata de los efectos sobre el cuerpo humano, cubre un tema muy amplio y contiene muchos datos de interés.

La flora y fauna de los manantiales calientes queda destruída en parte cuando se cubren para su utilización como balnearios. En su propio país, Yugoeslavia, el autor ha podido estudiar en su estado natural las comunidades biológicas de los manantiales calientes, dividiéndolos según su temperatura y vegetación, y señalando que la primera es casi constante. Los más calientes, aun hasta temperaturas de 85°, están habitados por algas verdiazules, entre las que la más característica es *Mastigocladus laminosus*, pero también hay otros ferro- y sulforganismos termofílicos especiales; a temperaturas más bajas se hallan presentes otras algas.

El estado actual de esta ciencia queda caracterizado por el hecho de que, a pesar de los interesantes e importantes problemas planteados en este libro, no

aparece en él referencia ninguna a experimentos realizados con dichos organismos, aunque se han llevado a cabo ya algunos. Sin embargo, el autor presenta ciertas hipótesis de interés sobre las causas del efecto terapéutico de las aguas de manantiales calientes. E. G. PRINGSHEIM

BIOQUIMICA

Antibiotics: A Survey of their Properties and Uses. 274 + IX págs. The Pharmaceutical Press, Londres. 1952. 25s.

Este es un volumen muy completo que trata de los antibióticos más comunes desde el punto de vista del farmacéutico. Contribuyen colaboradores muy capacitados que cubren entre ellos los distintos temas de la química, manufactura, investigaciones experimentales, usos clínicos, médicos y veterinarios, y aspectos legales de este estudio.

En un volumen de este tipo, es necesario que algunas afirmaciones y datos hayan quedado ya anticuados cuando la obra está en preparación; así, la toxicidad del cloroamfenicol debiera haberse tratado de nuevo en vista de los datos contenidos en recientes publicaciones.

La sección que describe el sinergismo y el antagonismo trata brevemente de algunos trabajos experimentales con ellos relacionados. La mayoría de los investigadores no estarían de acuerdo en que las profusas infecciones de *Candida albicans* observadas en pacientes tratados con penicilina se deben únicamente a la supresión de la flora normal.

En conjunto, la sección sobre los trabajos experimentales no alcanza la excelencia del resto del volumen, pero con todo, este libro ha de tener un valor extraordinario como obra de referencia. Su amplitud y su excelente bibliografía ofrecerán algo nuevo a la mayoría de los lectores.

La afirmación de que el *Streptococcus pyogenes* es un productor de penicilinasa no es tán sorprendente cuando se observa que se trata de una errata por *Staphylococcus pyogenes*.

R. M. CALMAN

BOTANICA

MOLDENKE, H. N. y A. L.: *Plants of the Bible.* XX + 364 págs., con 95 ilustraciones. Chronica Botanica Company, Waltham, Massachusetts; William Dawson and Sons Limited, Londres. 1952. $7,50.

Esta es una de esas obras en que al llegar a las últimas páginas el autor siente la satisfacción no sólo de haber cumplido bien su tarea, sino de que la tarea misma no necesitará jamás volver a repetirse. Así, los autores de este catálogo botánico bíblico habrán sentido inmensa satisfacción al llegar a *Zizyphus* y *Zostera* y finalizar el largo camino que iniciaron con *Acacia* y *Acanthus*; para tal jornada no sólo han hecho uso de gran industria y espíritu de exactitud, sino que han desplegado asimismo una profunda erudición—en todos los sentidos de esta palabra—y un certero juicio crítico para no perderse en el laberinto de la copiosa literatura dedicada a este tema. Desde ahora podemos decir que, durante muchos años, su obra será el necesario instrumento de consulta de los botánicos, teólogos y lectores en general que quieran informarse sobre las plantas de la Biblia.

Los textos en que aparecen mencionadas las plantas van citados en cabeza de las secciones pertinentes y seguidos de referencias botánicas, históricas y otras. También se incluyen numerosas ilustraciones, la mayoría a medio-tono, y un índice general y otro de versículos bíblicos. El libro, escrito en un estilo atrayente, interesará de inmediato a todo el que lo tome en sus manos; es una obra sólida y de gran utilidad, por la que el Dr. y Mrs. Moldenke merecen nuestro agradecimiento. Si alguna crítica puede hacerse es señalar el excesivo celo de los autores por evitar toda omisión. Así, por ejemplo, con relación a un versículo en Josué que dice «nuestro pan . . . está seco y mohoso», se trae por los pelos a *Mucor mucedo*, resultando desconcertante leer después que «mohoso» quizá sea una mala traducción por «desmigajado». E. J. HOLMYARD

CRISTALOGRAFIA

HENRY, N. F. M. y LONSDALE, K. (Compiladores): *International Tables for X-ray Crystallography*, Volumen I (Grupos de simetría). XII + 558 págs, con 237 figuras y un glosario en cinco idiomas. Publicado para la Unión Internacional de Cristalografía por The Kynoch Press, Birmingham, Inglaterra. 1952. 105s.

Los especialistas de radiocristalografía deben sentir una deuda inmensa hacia los iniciadores de esta obra, que viene a sustituir a las *International Tables for the Determination of Crystal Structures* de 1935. Muchos de los datos contenidos en éstas se mantienen en la presente obra, a la que se ha añadido mucho material con el declarado (y conseguido) propósito de auxiliar no sólo a los interesados en la determinación de las estructuras cristalinas sino también a todos los que apliquen el método de los rayos X a los cristales. De aquí el cambio de nombre y contenido. Este primer volumen, que trata de las redes cristalinas y de los grupos puntuales y espaciales tiene, aparte de las tablas principales, otras secciones sobre numerosos aspectos de la determinación de simetría.

Para que puedan usarse exactamente los diagramas de grupos espaciales y los datos con ellos asociados, los primeros deben ser grandes. En consecuencia, los factores de estructura geométrica y las funciones de densidad electrónica aparecen tabuladas separadamente, aplicándose a las principales descripciones de los grupos espaciales la regla general de destinar una página a cada grupo espacial. En algunos casos, la larga lista de posiciones equivalentes hace imposible la aplicación de dicho principio y entonces el diagrama y los datos tabulados aparecen, con muy pocas excepciones, ordenados en dos páginas opuestas. Hemos observado un ligero error en este sentido en la pág. 250 donde $P3_1$ y $P3_2$, como enantiomorfos, no debieran hallarse juntos sino frente a frente, lo cual conduce quizás a la dificultad de la pág. 253; pero los compiladores, manteniéndose firmes a sus principios continúan la pág. 253 en el espacio disponible al pie de la anterior. Más adelante resulta evidente que el objeto de esto era permitir que en lo sucesivo los grupos de enantiomorfos u otros pares apareciesen frente a frente. Tal atención al detalle incluye el orden reverso de encabezamientos en las páginas de la derecha e izquierda, a fin de que el símbolo del grupo espacial de la derecha no se pierda en la curva de la página. Otra mejora muy valiosa es la presentación de los grupos espaciales monoclínicos con el eje único tomado como *z*. Se han omitido los diagramas para los grupos espaciales cúbicos, de uso muy limitado.

En estas Tablas internacionales se utiliza únicamente el idioma inglés, pero se ha incluído también un breve glosario con los términos equivalentes en alemán, francés, ruso y español, limitado estrictamente a los términos cristalográficos e incluyendo sólo, con una o dos excepciones, los contenidos en el Volumen I. Los Volúmenes II y III llevarán sus propios glosarios.

La *Kynoch Press* ha contribuído considerablemente a la elegancia de la presentación de esta obra.

H. M. POWELL

FISICA

HEISENBERG, Werner: *Philosophic Problems of Nuclear Science* (Ocho conferencias. Traducidas al inglés por F. C. Hayes). 126 págs. Faber and Faber Limited, Londres. 1952. 16s.

Este volumen contiene ocho conferencias pronunciadas ante varias sociedades culturales entre 1932 y 1948, en las que se trata de las consecuencias, hasta cierto punto morales, de la física quántica; a pesar de su título, no está limitado a la física nuclear.

Por ser uno de los fundadores de la teoría quántica, todo lo que diga Heisenberg debe ser escuchado con atención; pero, además, en estas conferencias prueba que, al lado de su talento para la aplicación de las ideas matemáticas a los hechos físicos, Heisenberg ha desarrollado nociones profundas sobre las consecuencias filosóficas de las teorías que ha ayudado a crear. Más bien que a crear, a descubrir; pues todos sus esfuerzos se dirigen a indicar una verdad no siempre bien percibida por otros pensadores; las características — y a primera vista un tanto repelentes — doctrinas de los *quanta* no son invenciones gratuítas de algunos físicos notables sino que, por el contrario, tuvieron que ser aceptadas por los investigadores que habían realizado grandes esfuerzos por encontrar solución a lo que parecían irresolvibles contradicciones y quienes acogieron con entusiasmo las ideas de Heisenberg y De Broglie, cansados ya de luchar contra la imposibilidad de ordenar los hechos reales de acuerdo a antiguos sistemas. La física ha progresado mediante el sacrificio de antiguas nociones sobre el espacio, el tiempo y la materia, que parecían pertenecer a la naturaleza misma de las cosas. Quizás tenga todavía que sacrificar muchas más antes de poder penetrar los misterios nucleares y descubrir las verdaderas relaciones mutuas entre las llamadas partículas fundamentales, que hoy se están descubriendo en rápida sucesión y que parecen transmutarse unas en otras por modos tan curiosos.

Heisenberg opina que el viejo determinismo ha desaparecido para siempre y arguye elocuentemente contra la posibilidad de establecer un sistema convincente basado en la idea de la oculta existencia de ciertas leyes deterministas que, de una u otra manera, imitan las del azar. Es notable, por ejemplo, su argumento referente a una partícula-α emitida por el radio y difractada por un cristal. Si en verdad sale determinísticamente en un tiempo definido y una dirección definida debe haber chocado con una parte definida de la red y ¿ cómo puede decirse entonces que ésta actue al mismo tiempo como una red de difracción? Al mismo tiempo, Heisenberg cree que la física clásica de Newton conserva cierta preeminencia debido a que sus nociones nos sirven para describir el aparato esencial con el cual podemos estudiar los fenómenos, aunque sean fenómenos atómicos. En otras palabras: que debe existir una «interpretación» del abstracto mundo multidimensional de la mecánica ondulatoria en términos espaciales y temporales ordinarios antes de que podamos investigar ese mundo.

Heisenberg es un atomista convencido y trata de la transformación de dichas ideas desde su origen en el pensamiento griego hasta nuestra época. Primeramente desaparecen de la materia, considerada como una conglomeración de átomos sólidos, las cualidades de color y sabor, pero los átomos conservan al principio forma y tamaño. Ahora estas propiedades también desaparecen o, al menos, se hacen vagas, y el átomo, o por mejor decir el electrón, se convierte en un ente sin partes, forma ni tamaño. Pero, ¿ no se equivoca Heisenberg al implicar aquí que los atomistas antiguos suponían que los átomos eran fundamentalmente idénticos? Lucrecio, cuyos estudios, aunque bastante posteriores son los más completos, no lo creía así pues atribuía diferentes propiedades a los diferentes átomos. Llegó, cierto es, a introducir una especie de hipótesis de Prout sobre el peso atómico integral, pero nunca supuso con esto la existencia de una partícula fundamental simple.

Bien quisiéramos que Heisenberg, al hablar de Pitágoras, hubiera insistido más sobre la magia de los números enteros. Cada día aparece más claro que todo lo que quede de los conceptos de materia y energía cuando se cierre el presente capítulo de la historia de la física serán esquemas definidos por números enteros. Las profundas conclusiones filosóficas que Pitágoras parece haber deducido de sus experimentos sobre los tonos musicales producidos por cuerdas no encuentran en modo alguno apoyo en los datos de que disponía, pero es interesante observar cómo, al estudiar las formas más elementales de vibración estacionaria, llega a las mismas ideas que nosotros estamos formando ahora como consecuencia del estudio de los estados de los átomos según los describe la mecánica ondulatoria, cuyas matemáticas son simplemente una forma más complicada de las ideas necesarias para explicar las notas de una lira.

En la última conferencia, Heisenberg trata de las dificultades que la ciencia y los científicos encuentran en un estado nacionalista, desde el punto de vista de un alemán patriota después de la pérdida de la guerra. En ella el autor se dirige a una asamblea de estudiantes y se esfuerza por mostrarles cómo ha llegado a considerar la ciencia internacionalmente. Piensa que, aunque el individual hombre de ciencia halle grandes dificultades para decidir cómo debe aplicar su conocimiento, la verdadera función de la ciencia en la vida de la humanidad es descubrir un cuerpo de verdades que se halla fuera de todo control humano: «siempre habrá «bien y mal» en la ciencia. Pero hay también un poder superior, jamás influído por nuestros deseos, que finalmente decide y juzga.» A la larga, pues, el conocimiento importa más que el «nivel de vida». G. P. THOMSON

MURRAY, H. D. (Compilador): *Colour in Theory and Practice.* XIII + 360 págs., con ilustraciones a línea, medio-tono y color. Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 70s.

En esta obra se han unido los esfuerzos de ocho especialistas, incluyendo al compilador, para tratar eficazmente de los siguientes aspectos del estudio del color: problemas físicos de la radiación, fuentes luminosas y detectores de luz, estructura química de los colorantes, el aparato visual humano y sus reacciones a la luz y al color en sujetos de visión normal y patológica, detalles técnicos de la fotometría y la colorimetría, las reacciones emocionales ante el color en situaciones cotidianas. El libro ha de resultar valioso para tres tipos de lectores: los estudiantes de física, química y fisiología que deseen informarse sobre el problema del color en su conjunto; los investigadores especializados en un aspecto determinado del problema del color, pero también interesados en los estudios concomitantes; y el técnico que, para la solución de un problema relacionado con el color, desee adquirir rápidamente un conocimiento general de los datos con

que trabajan los especialistas. La profundidad del tratamiento varía considerablemente; en un capítulo, por ejemplo, se trata de la óptica elemental, mientras que en otro se introducen nociones químicas bastante avanzadas sobre los orbitales moleculares, la hibridización y la conjugación. Existen ciertas repeticiones, especialmente en el tratamiento de las doctrinas tricromáticas, sin que se haya intentado fundir las contribuciones de los distintos autores. Sin embargo, estas objeciones apenas tienen importancia en una obra que sin duda ha de ser muy valiosa como libro de referencia. Varios apéndices sobre la terminología del color, los datos colorimétricos y las propiedades de las substancias colorantes naturales y sintéticas aumentan aún más su valor.

W. S. STILES

TAYLOR, J.: *Detonation in Condensed Explosives*. 196 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Oxford University Press, Londres. 1952. 25s.

Es de mucho valor la publicación de este libro, que trata del mecanismo de detonación en explosivos condensados, ya que los temas en él estudiados no han sido hasta ahora de muy fácil acceso por hallarse distribuídos en artículos de diferentes revistas o en algunos informes declasificados del tiempo de guerra. Los conocimientos hoy adquiridos sobre los problemas dinámicos y termodinámicos de la detonación en explosivos sólidos es en gran parte resultado de los esfuerzos realizados durante la guerra en Gran Bretaña y en los Estados Unidos. Fué necesario vencer numerosas dificultades para adaptar la teoría dinámica de la detonación en los gases, desarrollada a principios de este siglo, al problema de la detonación de los explosivos condensados. Este libro contiene un estudio claro y directo de dichos avances y de los numerosos progresos realizados desde el final de la guerra. La mayor parte de los resultados experimentales relacionados con los explosivos industriales, y las adaptaciones de la teoría general a dichos explosivos, es obra del Dr. Taylor mismo y de su personal auxiliar.

Aunque se estudian en la obra importantes técnicas experimentales, la mayor parte de ella trata de la teoría física del proceso de detonación. Se estudia asimismo plenamente la termoquímica de los productos de la explosión, sobre la base de las diversas ecuaciones de estado plausibles, incluyéndose también numerosas tablas, resultado de largos cálculos, que han de ser muy valiosas para todos los que se dediquen a esta rama de la investigación. También el lector general encuentra mucho de interés en el libro, ya que la teoría, tanto en lo que se refiere a la solidez de sus cimientos como a la precisión de su desarrollo matemático, puede compararse muy favorablemente con muchos aspectos de la teoría del estado sólido.

La obra tiene muy buenas ilustraciones en forma de diagramas y planchas y representa una apropiada adición a esta excelente serie de monografías.

H. JONES

WEYL, Woldemar A.: *Coloured Glasses*. 541 págs., con diagramas a línea. The Society of Glass Technology, Sheffield. 1951. 25s.

El Professor Woldemar Weyl es un científico de gran distinción que en los últimos doce años se ha dedicado a la investigación sobre la estructura y constitución del vidrio, con especial referencia a los colores y a la absorción de la luz. El presente libro inicia el estudio de temas nunca antes tratados. Además de presentar los resultados de sus propias investigaciones, el autor examina y correlaciona los numerosos datos obtenidos en años recientes.

El vidrio coloreado se estudia desde el punto de vista químico-físico. Los primeros investigadores en este terreno rara vez intentaron dar una explicación básica a sus resultados, pero el Profesor Weyl procura llegar a la comprensión de los elementos fundamentales de esta materia, precisando especialmente por qué difiere el color del vidrio de una hornada a otra. Su tratado es brillante, de fascinadora lectura y valor permanente como obra de referencia, viniendo a llenar una importante laguna en la literatura científica. Con característica amplitud de miras, el autor afirma, con razón, que la química del vidrio ofrece una base sólida para los estudios de las sales fundidas en general y especialmente de las escorias metalúrgicas.

L. M. ANGUS-BUTTERWORTH

INGENIERIA

PERUCCA, Eligio (Compilador): *Dizionario d'Ingegneria*. Vol. I, A–CER. XII + 1052 págs, con 2200 figuras; Vol. II, CER–FOR, VIII + 1087 págs., con 2200 figuras y una tabla en color. Unione Tipografica-Editrice Torinese, Turín. 1952. Liras, 12 000 cada volumen.

Los científicos y los ingenieros que leen obras técnicas extranjeras comprenden muy pronto que hasta los mejores diccionarios técnicos son incompletos y que lo mejor es consultar una enciclopedia técnica en la lengua extranjera, en la que se definan claramente los diversos términos.

La obra que reseñamos habrá de ser útil por tanto aun fuera de Italia, ya que aparentemente contiene toda la información que un ingeniero puede necesitar, presentada en términos bastante sencillos. Es una magnífica publicación que ha debido significar grandes cuidados y esfuerzos por parte de su compilador y editores.

Las divisiones más importantes van clasificadas en párrafos indicados con números romanos, que significan las diferentes partes de la ciencia, y en cifras árabes que clasifican el contenido referente a una determinada rama. Por ejemplo, «Antena» se divide en: I Ingeniería civil, II Ingeniería naval, III Ingeniería eléctrica. La sección III se subdivide en: III = 0 General; III = 1 Antenas lineales; III = 2 Distribución de la corriente a lo largo de la antena; III = 3 Diagrama polar; etc. Cada subdivisión se subdivide a su vez: III = 2–0 Distribución de la corriente; III = 2–1 Desviaciones de la forma sinusoide. De este modo se crea una especie de índice de materias que facilita las referencias.

El nivel de la obra es muy elevado, y a juzgar por la notable lista de colaboradores debe hallarse generalmente al día. Los juicios sobre las materias elegidas y su relativa importancia pueden variar; y, como probablemente es inevitable, habrá algunas repeticiones y omisiones. Por ejemplo, los modernos diodos cristalinos no aparecen mencionados ni en «*cristalo*» ni en «*diodo*». Hemos observado algunos errores, como por ejemplo el que la carga electrónica dada en coulombs es diez veces más pequeña que su valor real. Los diagramas y las figuras son muy claros.

A pesar de esos errores mínimos y del precio relativamente elevado, esta obra debiera encontrarse en toda biblioteca de ingeniería.

L. PINCHERLE

LITERATURA

LEVY, Hyman y SPALDING, Helen: *Literature for an Age of Science*. 247 págs. Methuen and Company Limited, Londres. 1952. 15s.

Si el lector de esta obra espera encontrar en ella muchos datos sobre

la influencia que una era científica ejerce sobre la literatura, se llevará un buen desengaño. Lo cual no es culpa de los autores, ya que el título indica, no inexactamente, el tema de la obra. El cual es que, en una época en la que la sociedad se halla evidentemente mal acoplada a la ciencia y la tecnología, la literatura debiera representar un papel mucho más importante para llegar a «una integración de los triunfos de la ciencia y la vida afectiva del hombre». En opinión de los autores, la gran literatura de las épocas pasadas ha sido excesivamente individualista — el producto de una clase — y no ha sabido fomentar la conciencia social y unificar las ideas de todas las clases sociales. Aun el mismo Shakespeare — según ellos — no ha hecho justicia a los humildes, a quienes trata como objetos de burla. Bernard Shaw comprendió los defectos de la sociedad de su tiempo, pero con la cabeza, no con el corazón; y Galsworthy, a pesar de su preocupación por las injusticias sociales «adopta una actitud sin riesgo al procurar despertar los instintos liberales de su público, pero sin ofenderlo». La literatura reciente no sólo ha sido incapaz de cumplir su función propia sino que ha ayudado a este proceso de decadencia.

El libro, que los autores clasifican como «crítica literaria» es muy analítico y requiere la concentrada atención del lector. La mayoría de éstos hallarán que la parte más interesante son los capítulos sobre poesía, novela y drama; pero aun en éstos brilla por su ausencia la amenidad. El estilo es lerdo, lleno de frases como «canalización de las fuerzas sociales», «la poética totalidad del desilusionamiento amoroso», «la sumación del presente» y otras semejantes.

Este libro es a un tiempo pesado y sugerente, presentando un punto de vista que no debe ignorarse.

J. K. ROBERTSON

MINERALOGIA

BÖRNER, Rudolf: *Welcher Stein ist das ?* 165 págs. con planchas en color. Kosmos-Gesellschaft der Naturfreunde, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart. 1952. DM 5,80.

Este librito, perteneciente a la excelente serie de estudios de la naturaleza publicados por la *Kosmos-Gesellschaft*, será de gran utilidad para geólogos y minerálogos, y especialmente para los estudiantes, por contener en forma bien accesible gran cantidad de datos informativos. En él se estudian más de 500 minerales, incluyendo 280 piedras preciosas. Característica importante de la obra son sus 14 excelentes planchas en color que ilustran 160 minerales, rocas y piedras preciosas; hay además 7 ilustraciones en el texto y 16 tablas, algunas de ellas muy extensas.

Después de una breve e interesante introducción, se estudian los diversos sistemas cristalinos, con ejemplos de modificaciones; las 64 páginas siguientes contienen una descripción tabulada de los minerales ordenados según su coloración, dando detalles de sus vetas, peso específico, fracturas, grietas, yacimientos y otros minerales con ellos relacionados. Otra tabla, ordenada en grupos según el color de la veta producida sobre la porcelana, contiene fórmulas e índices de dureza.

El libro contiene además una introducción general al estudio de las gemas, con detalles de las pruebas de dureza, así como también una útil tabla comparativa de durezas según diferentes escalas. Los diversos minerales usados para los índices de dureza son objeto de una lista, conteniéndose además detalles de la dureza de los minerales en la escala de Mohs. Otras notas y tablas sobre las propiedades ópticas, y principalmente sobre el dicroísmo aplicado a las gemas va seguida de una tabla del poder dispersivo de las variedades de diferentes minerales.

Hay además una breve pero interesantísima sección sobre la estructura de la Tierra, junto con ilustraciones y tablas que detallan la composición de los diversos minerales que constituyen las rocas y de sus existencias. Después de una sección final sobre las propiedades de las rocas utilizadas para fines estructurales e industriales, un buen índice completa este excelente libro.

ARTHUR MARSDEN

SHAND, S. J.: *Rocks for Chemists.* XII + 146 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Thomas Murby and Company, Londres. 1952. 21s.

La petrología es un tema muy difícil de explicar al profano, pero el esfuerzo que el autor realiza en este libro es muy encomiable. Después de una corta introducción histórica, la obra trata de las rocas *in situ*, de los minerales que las forman, de la naturaleza de la lava activa y subterránea, de la clasificación de las rocas eruptivas y de los diversos tipos de éstas. Luego viene un corto capítulo sobre las rocas sedimentarias y dos sobre las metamórficas. Una bibliografía y una serie de 32 fotografías ilustrativas de las rocas en el terreno y bajo el microscopio completan la obra.

Esta está destinada especialmente a los químicos y estudiantes de química ya que, como el Dr. Shand señala en el prefacio, la petrología les ofrece un rico campo de investigación. El estilo es claro y conciso y ayuda a hacer interesante el tema, pero no está a salvo de toda crítica. El capítulo sobre los minerales constituyentes de las rocas podría ser mejor si contuviese más información sobre la estructura cristalina de los mismos; y es inexacto decir (pág. 15) que el hierro férrico puede substituir al silicio en el hornablenda. En un libro que va destinado a los químicos, los diagramas de los sistemas de tres componentes debieran estar trazados en detalle con sus isotermas. Los químicos también se interesarían en la regla de la fase mineralógica y el concepto de faz en el metamorfismo; ninguno de ellos se menciona. Y era también de esperar que en una obra de este tipo se prestase cierta atención a las investigaciones de los geoquímicos.

S. R. NOCKOLDS

QUIMICA

COULSON, C. A.: *Valence.* X + 338 págs. Oxford University Press, Londres. 1952. 25s.

El propósito de este libro es describir la contribución de la mecánica ondulatoria a la comprensión del fenómeno de la valencia. No se supone en el lector un conocimiento previo de mecánica ondulatoria, sino que se explican y se utilizan luego numerosos principios técnicos, sin tratar de dar una idea general de la teoría de la mecánica quántica. Como es natural, este método impone limitaciones en cuanto a la profundidad de los conocimientos que el lector puede adquirir en esta obra. Pero dentro de estas limitaciones, el Profesor Coulson ha cumplido su propósito de manera superlativa.

El libro tiene virtudes especiales. Está escrito en estilo claro e interesante. Las dos teorías principales de la valencia — los métodos del «enlace de valencias» y de los «orbitales moleculares» — reciben el mismo tratamiento, sin que se los considere como competidores que buscan adherentes a expensas del otro. El autor no vacila en insistir en la seriedad de las suposiciones que la teoría tiene que aceptar a menudo; por otra parte, el lector también sabe que la magnitud de los errores así introducidos puede asimismo calcularse con gran frecuencia.

WALTER KAUZMANN

Libros recibidos

(*Nota.* La mención de un libro en esta sección no excluye su futura revista.)

AGRICULTURA

FREAR, D. E. H.: *Agricultural Chemistry* (Vol. II): *Practical Applications of Agricultural Chemistry.* 588 págs. D. Van Nostrand Company Inc., Nueva York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 71s.

SMITH, A. M.: *Manures and Fertilizers.* 275 págs. Thomas Nelson and Sons Limited, Londres. 1952. 15s.

ASTRONOMIA

BEET, E. Agar: *The Sky and its Mysteries.* 238 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1952. 15s.

GAMOW, George: *The Creation of the Universe.* 147 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. The Viking Press, Nueva York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1952. 21s.

BIOGRAFIA

BAKER, John R.: *Abraham Trembley of Geneva, Scientist and Philosopher,* 1710–1784. 259 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Edward Arnold and Company, Londres. 1952. 35s.

BIOLOGIA

BONNER, J. T.: *Morphogenesis: An Essay on Development.* 296 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Princeton University Press, Princeton, New Jersey; Oxford University Press, Londres. 1952. 32s.

PIVETEAU, J. (Compilador): *Traité de Paléontologie* (Vols. I y II). 782 y 790 págs. respectivamente, con ilustraciones a línea y medio-tono. Masson et Cie., París. 1952. Vol. I, en rústica, Frs. 8300; en pasta, Frs. 8900. Vol. II, en rústica, Frs., 9000; en pasta, Frs., 9700.

BIOQUIMICA

BACH, S. J.: *The Metabolism of Protein Constituents in the Mammalian Body.* 272 págs. Oxford University Press, Londres. 1952. 40s.

BELL, E. G.: *Biochemical Preparations.* 109 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 24s.

GOODWIN, T. W.: *The Comparative Biochemistry of the Carotenoids.* 356 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 50s.

BOTANICA

KÜSTER, Ernst: *Die Pflanzenzelle* (2ª edición). 866 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Gustav Fischer, Jena. 1951. DM 54.

POPHAM, R. A.: *Developmental Plant Anatomy.* 361 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Long's College Book Company, Columbus, Ohio. 1952. $4,50.

CIENCIA GENERAL

CROIZAT, Léon: *Manual of Photogeography.* 587 págs., con mapas y dibujos a línea. Dr. W. Junk, La Haya. 1952. Fl. 45.

RAWLINS, F. I. G. (Compilador): *Studies in Conservation.* Vol. I, No. 1, Octubre 1952. 47 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Journal of the International Institute for the Conservation of Museum Objects. Thomas Nelson and Sons Limited, Londres. 1952. 21s.

FISICA

BLATT, J. M. y WEISSKOPF, V. F.: *Theoretical Nuclear Physics.* 864 págs., con diagramas a línea. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 100s.

BÖTTCHER, C. J. F.: *Theory of Electric Polarization.* 492 págs. Elsevier Publishing Company, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1952. 70s.

CALTHROP, J. E.: *Advanced Experiments in Practical Physics* (2ª edición). 142 págs, con ilustraciones a línea y medio-tono. William Heinemann Limited, Londres. 1952. 10s. 6d.

PEPINSKY, Ray (Compilador): *Computing Methods and the Phase Problem in X-Ray Crystal Analysis.* 390 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. The Pennsylvania State College, Pa. 1952. $7,50.

ROCARD, Y.: *Thermodynamique.* 551 págs., con diagramas a línea. Masson et Cie., París. 1952. En rústica, Frs., 3650; en pasta, Frs., 4150.

SHOENBERG, D.: *Superconductivity.* 256 págs., con diagramas a línea. Cambridge University Press, Londres. 1952. 30s.

GEOLOGIA

TERMIER, Henri y TERMIER, Geneviève: *Histoire Géologique de la Biosphère.* 721 págs., con mapas y ilustraciones a línea y medio-tono. Masson et Cie., París. 1952. En rústica, Frs., 8600; en pasta, Frs., 9200.

QUIMICA

BOUNDY, R. H. y BOYER, R. F.: *Styrene: Its Polymers, Copolymers and Derivatives.* 1304 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 160s.

D'ALELIO, G. F.: *Fundamental Principles of Polymerization.* 517 págs., con diagramas a línea. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 80s.

FLETT, L. H. y GARDNER, W. H.: *Maleic Anhydride Derivatives.* 269 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 52s.

HOLMAN, R. T., LUNDBERG, W. O. y MALKIN, T. (Compiladores): *Progress in the Chemistry of Fats and other Lipids.* 186 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Pergamon Press Limited, Londres. 1952. 42s.

HURD, Dallas T.: *An Introduction to the Chemistry of the Hydrides.* 221 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 44s.

MANDLEBERG, J. H.: *Physical Chemistry Made Plain.* 287 págs. Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1952. 15s.

RICCI, J. E.: *Hydrogen Ion Concentration. New Concepts in a Systematic Treatment.* 460 págs. Princeton University Press, Princeton; Oxford University Press, Londres. 1952. 63s.

VAIL, James G.: *Soluble Silicates: Their Properties and Uses.* Vol. I — Química. 357 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 72s.

ZOOLOGIA

BURNS, Marca: *The Genetics of the Dog.* 122 págs, con ilustraciones a medio-tono. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, Bucks. 1952. 12s. 6d.

HARTMAN, Carl G.: *Possums.* 174 págs., con ilustraciones a línea y medio-tono. University of Texas Press, Austin, Texas. 1952. $6.

PORTMANN, A.: *Animal Forms and Patterns.* 246 págs., con ilustraciones a línea. Faber and Faber Limited, Londres. 1952. 25s.

Notas sobre los colaboradores

J. W. CORNFORTH

Nació en Sydney, Australia, en 1917 y estudió en las Universidades de Sydney y Oxford. Miembro del personal científico del Consejo de Investigaciones Médicas, y autor de diversos estudios sobre química orgánica y sus aplicaciones a los problemas biológicos.

E. N. DA C. ANDRADE

Nació en Londres en 1887 y estudió en las Universidades de Londres, Manchester y Heidelberg, y en el Laboratorio «Cavendish» de Cambridge. En 1928 fué nombrado para ocupar la Cátedra «Quain» de Física de la Universidad de Londres, estableciendo una floreciente escuela de física, conocida por sus trabajos fundamentales sobre las propiedades mecánicas de los estados sólidos y líquidos. De 1950 a 1952 dirigió la *Royal Institution of Great Britain* y el Laboratorio «Davy Faraday» de Investigaciones. Posee una famosa colección de libros antiguos sobre las ciencias exactas, y es un especialista sobre Newton y sus contemporáneos.

W. O. JAMES

Nació en 1900 y estudió en las Universidades de Reading y Cambridge. Profesor auxiliar de Fisiología vegetal del Departamento de Botánica de Oxford. Redactor-jefe de *The New Phytologist*. Autor de diversos trabajos sobre la nutrición y respiración vegetales y sobre el metabolismo alcaloide de las solanáceas.

MAX VACHON

Nació en Dijón en 1908, en cuya Facultad de Ciencias, y más tarde en la Sorbona, estudió hasta obtener el Doctorado en Ciencias en 1938. Desde esa fecha ha trabajado bajo la dirección del Profesor L. Page, *Membre de l'Institut*, en investigaciones sobre una de las ricas colecciones zoológicas del *Muséum National*. Nombrado en 1948 Jefe de Investigaciones en el *Centre National de la Recherche Scientifique* y miembro del *Comité Nationale du C.N.R.S.* en la sección de Zoología y Biología Animal.

A. KATCHALSKY

Nació en 1913 y se graduó en la Universidad Hebrea de Jerusalén. Ha publicado diversos estudios sobre la teoría general de las disoluciones de polielectrólitos, el comportamiento físico de las disoluciones y de los geles polielectrolíticos, y los sistemas mecanoquímicos. En la actualidad es Director de la Sección de Polímeros del Instituto «Weizmann» de Ciencia, Rehovoth, y Catedrático de Física química de la Universidad Hebrea.

A. G. MADDOCK

Nació en 1917, y estudió en el *Royal College of Science*. Pasó los dos primeros años de la guerra última ocupándose en problemas de defensa química. A continuación ingresó en el personal de *Imperial Chemical Industries*, siendo elegido para formar parte de un equipo de investigadores adjuntos al Departamento de Investigaciones Científicas e Industriales. Después de pasar cuatro años en Canadá, regresó a Inglaterra al final de la guerra para ocupar un cargo en el Ministerio de Aprovisionamiento, relacionado con la Oficina de Investigaciones sobre la Energía Atómica. Al año siguiente ingresó en el personal docente de la Universidad de Cambridge, donde aún continúa.

WILMA GEORGE

Nacida en 1918. Estudió zoología en la Universidad de Oxford, pasando en 1941 a Cambridge donde inició sus investigaciones sobre los efectos de las altas temperaturas sobre *Drosophila*. En la actualidad es Profesor auxiliar de Zoología en Oxford. Autora de *Elementary Genetics*.